



Ajoneuvoyhdistelmän korkeusmittaus

Eemil Hyppänen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Auto- ja kuljetustekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Älykkäät koneet

Eemil Hyppänen:
Ajoneuvoyhdistelmän korkeusmittaus

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2015

Keskisuurten erikoiskuljetusten, joissa etuautoa ei tarvita, korkeudenmittaus suoritetaan nykyisin pääosin käsikäyttöisiä mittavälineitä, rullamittaa, mittasauvaa tai laseretäisyysmittaria käyttäen. Mittausten tarkkuuteen vaikuttaa helposti tien epätasaisuudet sekä mahdollinen mittavälineen kaltevuus. Mittausta suorittavan kuljettajan tulee rullamittaa tai laseretäisyysmittaria käyttäessään kiivetä koneen päälle lakipisteen viereen, korkeus mitatakseen, mikä osaltaan on työturvallisuutta vaarantava tekijä.

Alalta saamani omakohtaisen kokemuksen pohjalta, heräsi ajatus kehittää korkeusmittaukseen automatisoitua laitteistoa helpottamaan kuljettajan tehtävää. Taustoja selvittäni huomasin, ettei kyseiseen tarkoitukseen ole vielä laitteistoja tarjolla. Mahdollisesta toteutustavasta minulla oli jo muutama vaihtoehto mielessä ja aloitin eri tekniikoiden vertailun. Varteenotettavimmiksi toteutustavoiksi karsiutuivat konenäkö, laser ja keinohorisonttimenetelmät. Näistä konenäöllä ja laserilla kyettäisiin mahdollisesti täysin automatisoituun ratkaisuun, mutta antureiden suorituskyyvaatimukset ja hinnat selvitettyäni kävi selväksi, että hinta laitteistolle kasvaisi kohtuuttoman korkeaksi. Keinohorisonttimenetelmä puoliautomaattisesti toteutettuna voisi sen sijaan olla hinta-hyöty suhteelta järkevä ratkaisu.

Horisonttimenetelmän mahdolliseksi toteutustavaksi muodostui mastoon sijoitettava keinohorisonttikamera, minkä kuva tuodaan autossa olevalle näytölle. yhdistelmän lakipiste määritetään kameran keinohorisonttia käyttäen. Toteutusta selvitettyäni kävi selväksi, että kameran mittauskulma suhteessa autoon on olennaisen tärkeä, jotta korkeus voidaan tarkasti mitata. Tätä varten laitteisto olisi varustettava kulmaa valvovilla kallistusantureilla. Keinohorisontilla lakipisteen määrittämisen jälkeen, kameran korkeus mitattaisiin, mikä vastaisi yhdistelmän korkeutta.

Menetelmän testaamiseksi tuli laitteistosta rakentaa prototyyppi, jolla toimivuutta voidaan testata. Laitteiston rakentamisessa ilmeni kuitenkin useita haasteita, minkä myötä testien suorittaminen viivästyi. Lopulta testit piti suorittaa soveltaen, mikä osaltaan vaikutti testituloksiin.

Työn tulosten myötä on selvää, että toimivan ja hinnaltaan järkevän laitteiston rakentaminen on suurien haasteiden edessä. Etenkin pitkä mittausvälimatka laitteiston ja lakipisteen välissä osoittautui haasteeksi. Tarkempien tulosten aikaansaamiseksi pitäisi kallistusantureiden tuloksissa esiintynyt häiriö saada poistettua. Myöskään ultraäänien käyttö osana kameran korkeudenmittausta ei vastaa tarpeisiin.

Asiasanat: keinohorisontti, kallistusanturi, korkeusmittaus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Automobile- and transportation engineering
Intelligent machines

Eemil Hyppänen:
Truck height measurement

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 5 pages
May 2015

Nowadays, most common ways to measure height of trucks, loaded with medium-sized machinery, are manually operated tape measure, length bar or laser rangefinder. Measurement error happens easily, if measuring device is slanting a bit or some irregularities occur on the road underneath the truck. In many cases, measuring process requires the driver to climb on the machine, which doubtless increases the risk of accident.

Since I have gained my own experience in the field of machinery transport, an idea of developing automated equipment for height measurement grew in my mind. With a quick background survey I found out, that there's no earlier equipment developed for such purpose. Since the idea I had couple of thoughts as a technical solutions for the equipment. After some inquiry, the possible solutions for the device turned to be machine vision, laser measuring and virtual horizon. From these three options, laser measuring and machine vision could be possible to implement as a fully automated solutions. Anyway, after some survey made from these technical methods, it was clear that equipment implemented either way, would be quite expensive and so unwise. Instead, virtual horizon, played out as a half-automated equipment, could be wise choice while considering price-benefit ratio.

The idea of using virtual horizon for height measurement is based on a camera placed on the top of a telescope cylinder. With the virtual horizon of the camera, the top of the loaded truck will be determined, which after the height of the camera will be measured. After further focus to the solution, I realized that the measuring angle relative to the angle of the target itself is very essential while measuring the height of the truck. For this reason the equipment should be equipped with high resolution inclination sensors.

To test the technical solution, a prototype was needed. After all, many problems came up while building the prototype and so testing was delayed. In the end, tests had to be applied through with some modifications made to the original plan, which also affected to the final results.

In any case, test results show us that major challenges has to be solved to create a wise and workable equipment provided with good market value. Especially the long measuring distance between the measuring device and target turned out to play a key role in the measuring process. To get better results, the error occurred in the inclination sensors should be eliminated. Also, using ultrasonic sensors to measure height in this solution was found unwise choice.

Key words: virtual horizon, inclination sensor, height measurement

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LAITTEISTON MÄÄRITYS	8
2.1	Tavoite	8
2.2	Tekninen suorituskky.....	9
2.3	Hinta.....	9
2.4	Toteutus	10
3	Aiheeseen LIITTYVÄÄ TEKNIKKAA	13
3.1	Solutions for Traffic Safety by SICK AG.....	13
3.2	TechnoVector.....	14
3.3	Smart Measure	14
4	LAKIPISTEEN MÄÄRITTÄMISEN VAIHTOEHTOJA	16
4.1	Konenäkö	16
4.2	Laser mittaus.....	16
4.3	Keinohorisontti	18
4.4	Laitteiston toteutustavan päättäminen	19
5	HORISONTTIMENETELMÄ JA MITTAKULMAN HUOMIOINTI.....	20
5.1	Mittauskulman varmistaminen	21
5.2	Puoliperäyhdistelmän korkeuden mittaus	22
6	LAITTEISTON OSIEN MÄÄRITYS.....	25
6.1	Kallistusanturit.....	25
6.2	Kamerayksikkö	28
6.3	Kameran masto	31
6.4	Kamerayksikön korkeuden määrittäminen	32
7	KEINOHORISONTTIMENETELMÄN TESTAUS	34
7.1	Kamerayksikkö	34
7.2	Kameramasto	35
7.3	Kameran kallistus	35
7.4	Kallistusanturit.....	39
7.5	Korkeudenmittausanturi.....	39
7.6	Ohjainpiirit.....	40
7.6.1	Piirikorttien valmistus	41
7.6.2	Laitteiston ohjelmointi	43
7.7	Testilaitteiston kokoaminen	43
7.8	Testaus	45
7.8.1	Ritiläauton korkeudenmittauksen simulointi ja testaus.....	45
7.8.2	Puliperäyhdistelmän korkeudenmittauksen simulointi ja testaus	46

8 POHDINTA.....	48
LÄHTEET	49
LIITTEET	50
Liite 1. Kameran kallistusohjelmiston toiminnan suunnitelma, dia 1	50
Liite 2. Kameran kallistusohjelmiston toiminnan suunnitelma, dia 2 (puoliperäyhdistelmä)	51
Liite 3. Moottoriohjainpiirin kytkentä (Piirin suunnittelija: Petri Koskinen)	52
Liite 4. Moottoriohjainpiirin pohjapiirros ja kuva ohjainpiiristä (Piirin suunnittelija: Petri Koskinen)	53
Liite 5. Kallistusanturipiirin kytkentä (Piirin suunnittelija: Eero Hyppänen)	54

ERITYISSANASTO

3D	three dimensional
ADC	Analog Digital Converter
Co.	Corporation
Di-soric GmbH & Co. KG	Di-Soric Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Corporation Kommanditgesellschaft
DSLR	Digital single-lens reflex
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global Positioning System
HD	high digital
KG	Kommanditgesellschaft
LCD	liquid-crystal display
PDF	Portable Document Format
PWM	Pulse-width modulation
SICK AG	SICK Aktiengesellschaft (SICK osakeyhtiö)
SPI	Serial Peripheral Interface
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu

1 JOHDANTO

Tämän työn lähtökohtana on kehittää lavetti-kuljetuksiin sopivaa yhdistelmän kokonaiskorkeuden mittaavaa laitteistoa. Ajatus laitteiston kehittämisestä nousi omakohtaisten kokemusten kautta. Olen työskennellyt useampana vuonna metsäkoneyrityksen palveluksessa, jonka yhtenä osatoimialana ovat lavettikuljetukset.

Tehtäessä lavettisiirtoja, ovat ne monesti erikoiskuljetukseksi luokiteltavia työkoneiden suuren koon vuoksi. Nykyisin lähes poikkeuksetta yhdistelmän kokonaiskorkeus mitataan käsin joko, mittasauvalla, rullamitalla tai hyvässä tapauksessa käsikäyttöisellä lasermittarilla. Mittasauva poisluettuna, kuljettajan on yhdistelmän korkeus mitata kseen kiivettävä kyydissä olevan koneen päälle ja mitattava itse määrittelemänsä lakipisteen korkeus. Kiipeily koneen päällä, jonka pinnat voivat monesti olla märkiä, on vaarallista ja tapaturma-altista. Mittasauvalla voi lakipisteen määritellä silmämääräisesti maasta käsin ja mitata korkeuden teleskooppisauvaa apuna käyttäen, mutta sauva voi helposti jäädä koneen leveyden takia vinoon, jolloin tulos vääristyy.

Yli korkeiden kuljetusten korkeus tulisi aina mitata, ajoreitti sen mukaan suunnitellen. Suurissa erikoiskuljetuksissa, joissa ajoneuvoyhdistelmän edessä ja takana ajaa varoitusauto varoittaen muuta liikennettä, koko kuljetustapahtuma on tarkasti suunniteltu ajoaika, taukoja, reittiä ja mahdollisia siltoja yms. myöten. Ongelmia esiintyykin yleensä vain keskisuurissa kuljetuksissa, joissa edessä ajavaa varoitusautoa ei tarvita ja lavetin kuljettaja on liikkeellä yksin. Näissä tilanteissa kuljettaja saa yhdistelmän korkeuden tietoon itse mittaamalla, vain minuutteja ennen siirtoon lähtöä, minkä perusteella koko siirto tulee suunnitella. Kuljettajan apuna siltojen korkeuksiin on monesti vain oma tietämys ja mahdollisesti kuljetusluvassa määritellyt lähialueen siltakorkeudet. Siltakorkeudet ovat yleisesti vain tiemerkinällä ja liittymän nimellä, listattu kuljetusluopan, joten kokemattoman kuskin ollessa kyseessä tai liikuttaessa vieraalla paikkakunnalla, siltojen määrittäminen kartalta voi olla vaikeaa. Etuauton puute, jossa yleensä on korkeita kuljetuksia vietäessä mittapiiska vastaamaan kuljetuksen korkeutta, poistaa vielä ennakoitumahdollisuuden siltaa alitettaessa.

Pääsääntöisesti keskisuuret kuljetukset onnistuvat ongelmitta kuljettajien hyvän tietämyksen ja kokemuksen ansiosta, mutta toisinaan onnettomuuksia sattuu, jolloin vahin-

got ovat yleensä mittavia. Yleensä vahingon syynä on jokin inhimillinen virhe, kuljettajan vaihdos, koneen väärä kuormaustapa tai sitten rutinoituminen, jolloin kuljettaja on laiskuuttaan jättänyt korkeuden mittaamatta ja olettaa sen mahtuvan reitillä vastaan tulevien siltojen ali. Tällaisissa tapauksissa automaattisesta yhdistelmän korkeuden mitauksesta olisi suuri apu.

Tässä työssä tarkastellaan eri vaihtoehtoja toteuttaa yhdistelmän kokonaiskorkeuden mittausta autoon kiinteästi asennettavalla laitteistolla. Tavoitteena on löytää toimiva mitausmenetelmä koneen lakipisteen tunnistamiseen sekä korkeustiedon saamiseen ja testata niiden toimivuutta.

2 LAITTEISTON MÄÄRITYS

Jotta kehitettävän laitteen tarkempaa toteutustapaa voidaan lähteä suunnittelemaan, tulee ensiksi määrittää laitteen tavoite, tekniset vaatimukset sekä karkea suunnitelma laitteen toiminnasta. Tämän kappaleen tavoite on siis määrittää laitteiston vaatimukset.

2.1 Tavoite

Jotta kehitettävästä laitteistosta voidaan tehdä toimintavarma, tulee ensimmäiseksi määrittää laitteiston toimintaolosuhteet. Ajateltaessa metsäkoneita, kaivureita ja muita työkoneita siirtäviä lavettiautoja, ajavat ne monesti huonokuntoisilla ja kapeilla metsäautoilla. Töitä tehdään ympäri vuoden erilaisissa sääoloissa ja olosuhteet vaihtelevat kuraisista ja märistä olosuhteista kylmiin talvipäiviin ja kuumiin kuiviin kesäpäiviin.

Jotta mittalaitteistosta olisi kuljettajalle suuri hyöty, tulisi sen ehdottomasti olla mukana autossa kulkeva. Mittauksen nopeaksi suorittamiseksi olisi järkevää integroida laite kiinteäksi osaksi auto, jolloin kuljettajan tehtävä mittauksen suhteen voitaisiin minimoida. Laitteen ollessa osa autoa, kohdistuu siihen väistämättä samanlaiset käyttöolosuhteet kuin autoon. Tekniikan tulisi kestää tärinää siirryttäessä paikasta toiseen, kosteussuojaus olisi välttämätöntä ja myös suuret lämpötilavaihtelut lisäävät laitteiston vaatimuksia suorastaan haastaviksi.

Turvallisuuden kannalta olisi suotavaa, että laitteen antama korkotieto olisi kuljetuksen aikana kokoaikaisesti kuljettajalla saatavissa, jolloin se muistuttaisi kuljettajaa yhdistelmän korkeudesta. Myös kuljettajan vaihtotilanteessa olisi hienoa että korkotieto on nähtävissä eikä sitä tarvitse uudestaan mitata. Vielä paljon ihanteellisempi tilanne olisi lisätä laite osaksi GPS-paikanninta ja auton karttapalvelua, johon olisi tallennettu alueen siltojen korkeudet. Tällöin järjestelmä voisi jo ennakoon varoittaa kuljettajaa, mikäli vastaan tuleva silta olisi liian matala. Tästä ei tietenkään olisi pitkä matka kehittää järjestelmää vielä niin, että saadun korkotiedon lähtöpisteen ja määränpään sekä karttapalvelun siltakorkeuksien perusteella, järjestelmä laskisi kuljettajalle valmiiksi reitin, jota yhdistelmällä voidaan ajaa.

2.2 Tekninen suorituskyky

Nykyisin yhdistelmän korkeus mitataan keskisuuria erikoiskuljetuksia tehtäessä käsin ja silmämääräisesti. Käsin tehdyssä mittauksessa voi helposti tapahtua heittoa, mitta on hiukan vinossa, auton alla olevassa tiessä on kumpu tai kuoppa tai alhaalta mitattaessa silmämääräinen lakipisteen määrittäminen ei aivan olekaan paikkansa pitävä. Yleensä käsin tehdyllä mittauksella voidaan kuitenkin huolellisesti suoritettuna päästä n. 5-10cm tarkkuuteen. Ajateltaessa automaattista tai puoliautomaattista laitteistoa voidaankin todeta vaatimuksena olevan vähintään käsikäyttöistä mittausta tarkempi tulos. Seuraavassa on listattu laitteen suorituskykyvaatimuksia:

- kestää tärinää lepotilassa
- lialta ja vedeltä suojattu
- käyttölämpötila alue: -30...+40 °C
- mittaustarkkuus $\pm 4\text{cm}$

2.3 Hinta

Laitteiston hinta tulee määrittää siten, että se vastaa saavutettuja etuja. Nykyisin käsin tehtävä mittaus suoritetaan joko teleskooppisella mittatikulla, rullamitalla tai käsikäyttöisellä laseretäisyysmitalla. Kussakin tapauksessa kuljettaja joutuu itse kiipeämään koneen päälle mitatakseen korkeuden, tai mittatikun tapauksessa mittaamaan sen koneen vierestä. Kaikki mainitut apuvälineet eivät ole kovin arvokkaita ja ne kustantavat noin 10 - 100€.

Ajateltaessa automaattista tai puoliautomaattista laitteistoa mittauksen suorittamiseen, voidaan jo suoraan todeta, ettei nykyisten menetelmien hintaan päästä. Toisaalta pitää huomioida laitteiston tuoma lisä-arvo ja edut:

- mittauksen nopeus
- turvallisuus, kun koneen päälle ei tarvitse kiivetä
- tarkkuus
- korkotieto näytillä kuljettajalle siirron aikana
- mahdollinen karttapalveluohjelmisto, jossa varoitustoiminto siltakorkeuksista

Nämä lisäedut nostavat hyvinkin laitteiston tuomaa arvoa, jolloin laitteen hintaluokan voitaisiin kuvitella pyörivän jossain 700 - 1500€ tuntumassa. Käytännössä laitteen tärkeimmät tavoitteet on helpottaa itse mittaustapahtumaa niin paljon, että kuljettaja viitsii sen aina tehdä, sekä muistuttaa kuljettajaa ajonaikana, jotta inhimilliset virheet ja niistä aiheutuvat mahdolliset onnettomuudet voitaisiin minimoida. Nämä tavoitteet täyttäessään laitteiston 1500€ kustannus olisi pieni hinta verrattuna skenaarioon, jossa kuljettaja törmää yhdistelmällä siltaan aiheuttaen työkoneelle suuret vauriot ja pahimmassa tapauksessa kuolonuhreja.

2.4 Toteutus

Laitteiston toteutuksen kannalta tärkeimpiä huomioon otettavia seikkoja ovat, toimintavarmuus, käytännöllisyys, hinta, sekä tietysti mittaustarkkuus. Jotta laitteella olisi markkina-arvoa, tulee sen valmistuskustannusten ja sitä kautta jälleenmyyntihinnan olla riittävän alhainen. Teknisessä mielessä edullinen valmistuskustannus tarkoittaa mahdollisimman yksinkertaista rakennetta. Laitteistoon sijoitettavia mitta-antureita tulee käyttää tehokkaasti, eli toisin sanoen mahdollisuuksien mukaan mittaus olisi suoritettava minimimäärällä antureita, kuitenkin huomioiden ettei mittaustarkkuus kärsi liiaksi.

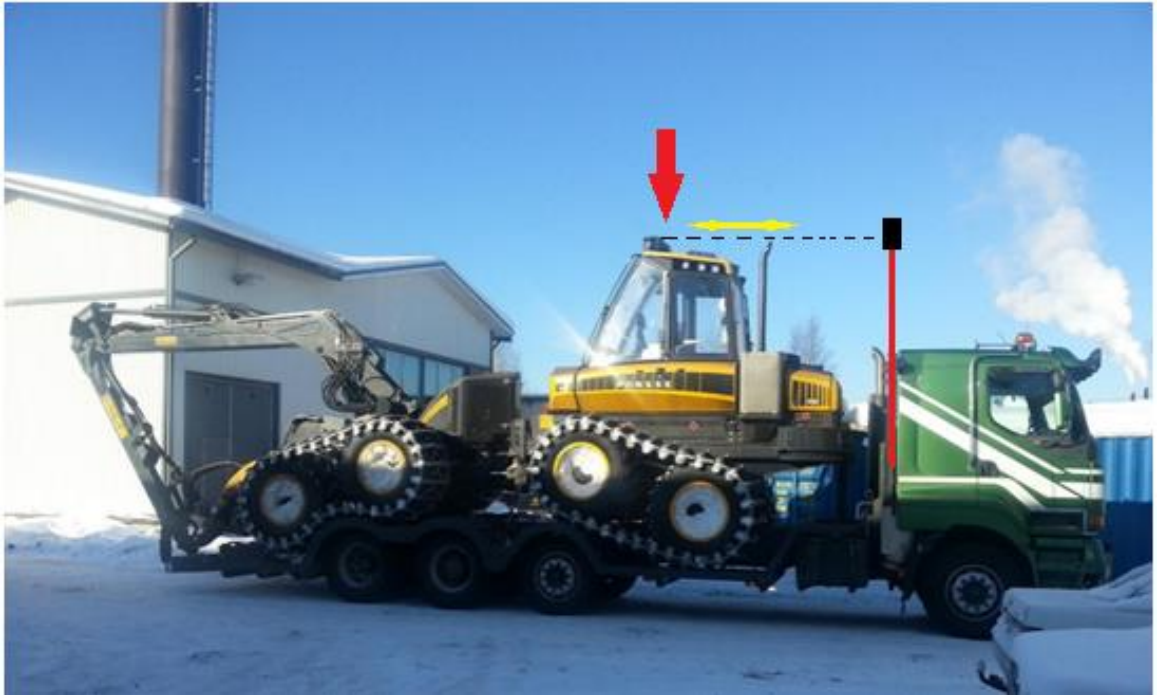
Laitteiston tavoitteena on siis mitata lavettiyhdistelmien kokonaiskorkeus. Mitattaviksi kohteiksi voidaan tässä tapauksessa ajatella keskisuuria erikoiskuljetuksia, joissa erillistä varoitusautoa yhdistelmän edessä ei ole. Keskisuurten kuljetusten korkeudet pyörivät yleensä kuljetettavasta koneesta riippuen 4-6 metrin välissä. Hyvin harvoin koneen tuoma yhdistelmän korkeus ylittää 6 metriä. Muutenkin 6 metriä korkeampien yhdistelmien siirtäminen on hyvin haastavaa, sillä harva alitettava silta mahdollistaa tätä korkeampien yhdistelmien alikulun.

Yhdistelmän korkeus mitatakseen, tulee laitteiston kyetä määrittämään yhdistelmän kyydissä olevan koneen lakipiste ja mitata sen korkeus. Ensimmäinen haaste onkin määrittää tapa, jolla lakipiste tunnistetaan. Tähän voitaisiin mahdollisesti käyttää seuraavia menetelmiä:

- laserskannaus / -mittaus
- konenäkö

- keinohorisonttikuva

Esimerkki Kuva 1, jossa työkonteen katto on yhdistelmän lakipiste.



Kuva 1. Työkonteen lakipiste. Tässä tapauksessa koneen hytin katto (Terähuolto.fi)

Tarkastellaan jäljempänä eri anturiratkaisujen soveltuvuutta lakipisteen havaitsemiseen. Kuitenkin ajateltaessa mitä vain lakipistettä määrittävää anturitapaa, tulisi anturi mittauksen tarkaksi suorittamiseksi nostaa ylemmäksi, vähintään samalle tasolle koneen lakipisteen kanssa tai yläpuolella. Lakipisteen alle jäävä anturi mittaisi alaviistosta, jolloin se ei välttämättä kykenisi havaitsemaan koneen korkeinta kohtaa. Anturin nostaminen voitaisiin suorittaa jonkinlaista sylinterä / teleskooppia hyväksikäyttäen. Anturi nostettaisiin ylös mittauksen ajaksi ja lähdettäessä liikkeelle, teleskooppi vedettäisiin kaasaan.

Itse teleskoopin ja mittalaitteen sijoittaminen autoon tulee myös pohtia. Käytännössä vaihtoehtoja on hyvin vähän. Auton perään / lavetin sivuille laitteistoa olisi vaikea asentaa, sillä se olisi helposti edessä ja altis rikkoutumiselle. Ainoa järkevä sijainti olisi liittää laite lavetin keulaan. Kuorma-autossa laite voitaisiin kiinnittää suoraan hyttiin tai hytin takana oleviin tukiin. Puoliperä yhdistelmää mietittäessä olisi tietysti ideaalista tehdä samoin, jolloin laite olisi käytettävissä vedettäessä mitä perävaunua tahansa. Haasteeksi puoliperävaunuyhdistelmän kanssa tulee mahdollinen auton ja karrin välinen kulma. Selvennetään kulman vaikutusta mittaukseen myöhemmin.

Lakipisteen määrittämisen jälkeen, pitäisi jollakin tapaa määrittää sen korkeus. Tähän voitaisiin käyttää yhtäläillä edellä mainittuja tapoja. Samalla anturilla eli lakipisteen vaakasuunnassa määrittävällä anturilla, voi korkeuden määrittäminen olla hankalaa. Ongelma on anturin sijainti auton yläpuolella, jolloin auton runko on edessä mitattaessa korkeutta. Tämä voitaisiin välttää siirtämällä anturia mekaanisesti sivusuunnassa auton viereen lakipisteen määrittämisen jälkeen ja mittaamalla korkeus erikseen. Kuitenkin sivuttaissuuntainen liike vaatisi monimutkaista ratkaisua teleskoopilta. Myös korkeuden mittaaminen suoraan maahan tuo haasteita, sillä tiessä voi olla kuoppa tai kumpu, jolloin mittaustulos vääristyy. Tarkemman mittaustuloksen saamiseksi tulisi korkeus maahan mitata useammasta eri kohdasta. Vaihtoehtoisesti voisi korkeuden määrittää suhteessa auton alustaan. Esimerkiksi erillinen teleskoopin korkeuden kanssa kalibroitu ultraäänianturi voisi mitata alustan korkeuden suhteessa auton akseliin, jolloin mittauksen heitosta poistuisi jousituksen vaikutus ja jäljellä olisi vain renkaiden painuminen kuorman kasvaessa. Renkaiden vaikutustakin voisi tietysti pienentää laskemalla kuorman vaikutuksen suhteessa renkaan käyttäytymiseen. Tämä kylläkin vaatisi jonkin verran tutkimusta ja työtä.

Jos lakipisteen määrittävä anturi ei määrittäisi yhdistelmän korkeutta, pitäisi auton alustan korkeuden valvomisen lisäksi mitata lakipisteanturin korkeus suhteessa alustaa mittaavaan anturiin. Tähän voisi käyttää esimerkiksi yksinkertaista potentiometriä. Tätä on selvennetty edellisessä kuvassa: Kuva 1. Esimerkissä punainen pystyviiva auton hytin takana esittää nousevaa teleskooppista vartta, jonka päässä on lakipisteen määrittävä anturi, eli kuvassa oleva musta laatikko. Mikäli lakipisteen määrittävä anturi havaitsee vain koneen läsnäolon vaakasuuntaisesti, mitä kuvassa näkyvä katkoviiva kuvaa, voitaisiin anturin korkeus määrittää kytkemällä potentiometri teleskooppiin. Potentiometrin antama arvo muuttuisi suhteessa teleskoopin pituuteen. Potentiometrin näyttämä lukema kalibroitaisiin vastaamaan lakipisteanturin korkeutta suhteessa alustan korkeutta mittaavaan anturiin.

3 AIHEESEEN LIITTYVÄÄ TEKNIKKAA

Ennen eri toteutusvaihtoehtojen vertailua ja arviointia, tutustutaan maailmalta löytyviin, aihealuetta sivuuttaviin teknisiin ratkaisuihin sekä mahdollisiin toteutustapoihin.

Tehdyn taustakartoituksen perusteella tarkalleen tässä työssä suunniteltavaa laitteistoa ei ole tullut vastaan. Löysin kuitenkin muutamia aiheetta sivuuttavia toteutuksia, joiden tekniikasta voisi olla hyötyä järjestelmän suunnittelussa.

3.1 Solutions for Traffic Safety by SICK AG

SICK AG on kehittänyt erilaisia liikenneturvallisuutta parantavia järjestelmiä. Näiden järjestelmien joukosta löytyy ajoneuvon profiilin mittaukseen tarkoitettu laitteisto. Lisäksi löytyy myös erilaisia ajoneuvojen korkeutta tarkkailevia sensoriratkaisuja asennettavaksi esimerkiksi tunnelien tai siltojen eteen varoittamaan kuljettajaa, mikäli auto ei mahdu kulkemaan edessä olevan esteen ali.

Ajoneuvon profiilin määrittäminen toteutetaan SICK:n kehittämässä järjestelmässä laser-skannerien avulla. Tien yläpuolelle asennetaan portti jonka läpi ajoneuvot ajavat. Ajoneuvon kulkiessa portista, sen mitat määritetään useampaa laser-skanneria hyödyntäen. Skannerien havainnoista muodostetaan ajoneuvon profiilin kokonaiskuva. Järjestelmästä sekä muista liikenneturvallisuusratkaisuista on kerrottu esitteessä: Efficient Solutions for Traffic Systems. Esitteen voi nähdä linkistä:

<https://www.mysick.com/saqqara/im0049539.pdf>

Alla oleva Kuva 2 on esitteessä näytetty visualisointi järjestelmästä.



Kuva 2. SICK AG:n ajoneuvon profiilin mittauslaitteisto (SICK)

3.2 TechnoVector

TechnoVector hyödyntää konenäkötekniikkaa auton pyöränkulmien tarkastuksessa. Järjestelmässä pyörään asennetaan ruudulliset reflektorit, jotka suunnataan kohti auton etupuolella olevaa kameraa. Kamera määrittää reflektoreja hyväksikäyttäen aurasukulmat. Järjestelmä kykenee mitattavasta suureesta riippuen 2-5', eli asteen kuudeskymmenesosan tarkkuuteen. Seuraavassa kuvassa, Kuva 3, näemme yhden tarjolla olevista laitteistoista. Tietokonepöydän kyljissä olevissa telineissä näkyy pyöriin asennettavat reflektorit.



Kuva 3. TechnoVector 7, 3D WideScope teknologialla. (technovector.com)

3.3 Smart Measure

Anroid pohjaisille älypuhelimille ohjelmistoja kehittävä AnroidBoy on tuonut markkinoille Smart Measure-ohjelman, jolla voi puhelimen kameraa hyväksikäyttäen mitata kohteiden koon sekä etäisyyksiä. Ideana on käyttää hyväksi puhelimen sisäistä kallistus / kiihtyvyysanturia. Korkeutta mitattaessa puhelimen näytöllä oleva kohdistin suunnataan mitattavan kohteen juureen. Tämän jälkeen painetaan mittauksen aloituskuvaketta, jolloin ohjelma mittaa kohteen etäisyyden ja tallentaa muistiin puhelimen kaltevuuden suhteessa vaakatasoon. Seuraavaksi käyttäjän tulee kohdistaa kohdistin mitattavan kohteen huippuun ja painaa painiketta uudestaan, jolloin ohjelmisto käyttää tapahtunutta

kulman muutosta yhdessä etäisyystiedon kanssa kohteen korkeuden määrittämiseen. Etäisyyden mittaus ohjelmistossa perustuu siihen, että käyttäjä määrittelee ennen mitausta mikä puhelimen korkeus maasta on mitaushetkellä. Kun puhelimen kohdistin on suunnattu maanpinnan tasoon, eli mitattavan kohteen juureen, ohjelmisto käyttää korkeustietoa sekä kameran kulmaa vaakatasoon nähden ja laskee näin etäisyyden.

Ohjelmiston heikkous on, ettei sillä voida mitata kohteita seistessä mäessä. Myöskään puhelimen kiihtyvyysanturin resoluutio tuskin on huippuluokkaa, joten tästä seuraa pidemmällä mittausetäisyyksillä merkittäviä heittoja. Kuitenkin perusideana ratkaisu on toimiva. Lisäämällä järjestelmän avuksi muutama lisä anturi tarkkailemaan alustan kaltevuutta ja mitattavan kohteen kaltevuutta, on mahdollista saada järjestelmästä myös mäkiolosuhteissa toimiva. Linkki AnroidBoy:n nettisivulle, josta voi nähdä tarkemmin ohjelman toiminnasta sekä videon mittaustapahtumasta on:

<http://androidboy1.blogspot.de/2010/10/smart-measure-ver-10-manual.html>

4 LAKIPISTEEN MÄÄRITTÄMISEN VAIHTOEHTOJA

Tarkastellaan seuraavaksi erilaisia vaihtoehtoja lakipisteen määrittämiseen.

4.1 Konenäkö

Konenäön käyttö voisi olla yksi keino tunnistaa lakipiste. Jotta mittaus olisi toimiva, tulisi laitteen kyetä tunnistamaan koneen rajat sekä korkein kohta. Lakipisteen määrittämisen lisäksi konenäön pitäisi jollain tapaa määrittää vaakasuuntainen taso, jossa lakipiste sijaitsee. Tähän voisi käyttää esimerkiksi kuvaan sisällytettyä keinohorisonttia. Kuitenkin metsäautotiellä tumman harmaan puomin erottaminen voi osoittautua vaikeaksi, kun taustalla on sekavaa tumman värimaailman sisältävää metsää. Vaikka konenäkö voisi toisaalta olla ratkaisu automaattisen laitteiston luontiin, olisi riittävään kuvantulkintaan pystyvä konenäkö kuitenkin kohtuuttoman kallis. Käytännössä anturi tulisi maksamaan useampia tuhansia euroja, mikä ei vastaa laitteistolle määriteltä hinta-hyöty suhdetta.

4.2 Laser mittaus

Tätä työtä aloittaessa oli ensimmäisenä ajatuksena toteuttaa korkeuden mittaus hyödyntäen laser tekniikkaa. Laseria hyväksikäyttäen voisi auton lavan alueen skannata tasoissa ja määrittää näin koneen lakipisteen. Laser tekniikkaan tarkemmin perehdyttyäni olen kuitenkin havainnut toteutuksen todella haastavaksi. Mittauksessa huomioitavia tekijöitä on useita. Ensiksikin, mikäli laitteisto sijoitettaisiin auton etuosaan, voi lakipiste sijaita pahimmassa tapauksessa jopa 10 metrin päässä. Pitkä mittausetäisyys ja mittauksen tapahtuminen kirkkaassa päivänvalossa heikentävät heijastusta kohteesta huomattavasti eikä kohteen tumma pintakaan toimi tehokkaasti heijastimena. Tehokas heijastuspinta eli reflektori mahdollistaisi pitkienkin mittauksien suorittamisen, mutta koska tavoitteena on että laite olisi koneesta ja sen väristä riippumaton, ei heijastuspintaa ole. Tämä ei kuitenkaan täysin sulje pois mittauksen suorittamista laserilla, sillä tummiakin pintoja mittaavia lasereita on, ja ne pystyvät vielä vaadittaviin etäisyyksiin. Kuitenkin tällaiset pelkästään etäisyyttä mittaavat laserit maksavat n. 800 - 2000€. Itse toteutuksen kannalta olisi tietysti ideaalisempaa mitata koko taso kerralla, mihin tarvittaisiin 2D-

laserskanneria. Kuitenkin riittävään etäisyyteen pääsevät skannerit kustantavat n.4000€ tai enemmän.

Lisää ongelmia laserin käytössä tuo mitattavan kohteen kulma sekä lasersäteen leviäminen. Mikäli koneen korkeutta määritettäisiin tasoissa, eli lakipistettä mittaava anturi nousisi hiljalleen ylöspäin skannaten auton lavan aluetta määrittäen tason jolla konetta ei enää havaita, olisi koneen lakipisteen pinnan kulma suhteessa anturiin hyvin loiva. Tästä aiheutuu, ettei säde heijastu takaisin anturille, eikä lakipistettä näin havaita. Tehyteni kyselyitä eri laseranturivalmistajille, kysyin myös mitattavan pinnan kulman vaikutuksesta heijastukseen. Di-soric GmbH & Co. KG yrityksen yhteyshenkilö Eric Baur vastasi viestissään että mitattavan pinna pitäisi olla vähintään 30 asteen kulmassa säteeseen nähden, jotta riittävä heijastus olisi mahdollinen. Jotta riittävään kulmaan päästään, voisi mitattavan pinnan kulmaa kasvattaa nostamalla anturipäätä selkeästi ylöspäin ja mittaamalla alaviistoon. Tällöin tulisi mitata myös anturin mittauskulma sekä kohteen etäisyys. Etäisyyden ja mittauskulman avulla voisi trigonometrialla laskea kohteen korkeuden. Kuitenkin jotta riittävä kulma saavutettaisiin, pitäisi anturia nostaa huomattavan korkealle. Otetaan tästä esimerkki. Anturin korkeus suhteessa lakipisteeseen ja kulmaan muuttuu seuraavan kaavan 1 mukaan:

Kaava 1
$$x = \tan \alpha * y$$

Jossa,

x = anturin korkeus lakipisteen yläpuolella

y = lakipisteen vaakasuuntainen etäisyys anturista

α = vaadittu heijastuskulma

Jos lakipiste sijaitisi esimerkiksi 8 metrin etäisyydellä anturista ja vaadittu heijastuskulma olisi 30 astetta, tulisi anturi nostaa n. 4,62 metriä lakipisteen yläpuolelle. Toisin sanoen teleskoopin pitäisi kyetä nostamaan anturia ainakin 5 metriä.

Vielä yhtenä huomioitavana tekijänä laserin käytössä on lasersäteen leviäminen. Laserlaitteita valmista anturivalmistaja SICK kertoo tuotekatalogissaan että laserlaitteen keila levenee seuraavan kaavan 2 mukaan: (SICK)

Kaava 2.
$$d(\text{beam}) = (x(\text{mm}) * 0,015\text{rad}) + 8\text{mm}$$

Jossa,

d = säteen halkaisija

x = etäisyys millimetreinä

Seuraava Taulukko 1 on tuotekatalogissa esitetty listaus muutamista etäisyyksistä verrattuna säteen halkaisijaan:

Taulukko 1. Säteen halkaisijan muutos riippuen etäisyydestä (SICK)

Distance	5 m (16.40 ft)	10 m (32.80 ft)	15 m (49.21 ft)	20 m (65.62 ft)	50 m (164.04 ft)
Beam diameter	83 mm (3.27 in)	158 mm (6.22 in)	233 mm (9.17 in)	308 mm (12.13 in)	758 mm (29.84 in)

Lasersäteen leviäminen aiheuttaa siis tarkkuusongelmia pitkillä matkoilla. Tästä syystä Laseranturi tulisi saada riittävän lähelle mitattavaa kohdetta. Esitetty taulukko ja kaava 2 ovat nähtävillä Operating Instructions PDF-dokumentissa osoitteessa:

<https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0031331>

4.3 Keinohorisontti

Koska lasersäteen kanssa tehtävä mittaus sekä konenäkö osoittautuvat haastaviksi toteuttaa, on laitteiston valmistuskustannusten nimissä mietittävä täysin automaattisesta laitteistosta luopumista. Voisiko siis keinohorisontilla varustettua kamerakuvaa käyttää lakipisteen määrittämiseen?

Keinohorisonttiratkaisussa nousevan teleskooppimaston, jonka korkeus on reaaliaikaisesti tiedossa, päähän sijoitettaisiin keinohorisontilla tai horisonttiviivalla varustettu kamera. Kameran kuva tuotaisiin näytölle auton ohjaamoon, jossa kuljettaja joystickkiä tai vastaavaa käyttäen ohjaisi kameran korkeudelle, jossa kameran kuvassa oleva viiva olisi lakipisteen tasolla. Kun kamera on vaakatasossa mitattavan kohteen kanssa ja korkeus tiedetään, voitaisiin kokonaiskorkeus määrittää.

Selvitin ratkaisun toimivuutta yksinkertaisesti käyttämällä apuna keinohorisontilla varustettua DSLR-kameraa. Kamerassa oli 200mm objektiivi, mikä mahdollisti mitattavan kappaleen korkeimman kohdan määrittämisen horisonttiviivan tasolle myös kauempaa. Testin suoritin tasaisella lattialla, jolloin sekä kameran jalka sekä mitattava kappale oli-

vat samalla tasolla. Tason kameralla määritettyäni mittasin kameran korkeuden lattiasta ja vertasin tulosta kappaleen korkeuteen. Viiden metrin etäisyydeltä suoritettu mittaus kykeni antamaan n. puolen sentin tarkkuudella oikean tuloksen korkeudesta. Tarkasteltuani keinohorisontin toimintaa kamerassa, huomasin kuitenkin ongelmana horisontin resoluution olevan suhteellisen heikko. Hiljaa kameraa kallistettaessa, kameran keinohorisontti havaitsi muutoksen vasta 2 asteen kulmanmuutoksen jälkeen. 2 asteen muutos kameran kulmassa tarkoittaa, että kameran kuvassa oleva horisonttiviiva on 5 metrin päässä vaihtanut korkeutta jopa 17,5cm, mikä kokonaiskorkeutta mitattaessa on väistämättä liikaa.

Tulosten perusteella voi kuitenkin todetta, että riittävällä objektiivilla ja horisonttiviivalla lakipisteen voi määrittää tarkastikin. Jotta tulosta voidaan vielä tarkentaa, tarvitsee horisontin ja kameran kulman valvonta vain avukseen tarkemman kallistuksen valvonnan, jolloin virhe pienenee merkittävästi. Keinohorisontilla toteutettu puoliautomaattinen laitteisto ei hinnankaan puolesta nousisi kohtuuttoman kalliiksi, sillä vaadittava tekniikka ei olisi kovin kallista. Hyötynä laitteistossa olisi silti mittauksen tarkkuus, nopeus sekä turvallisuus. Lisäksi laitteistoa voisi myöhemmin kehittää niin, että järjestelmä sisältää oman automaattisen kuvantulkintaohjelman, jolloin laitteisto voisi toimia täysin automaattisesti.

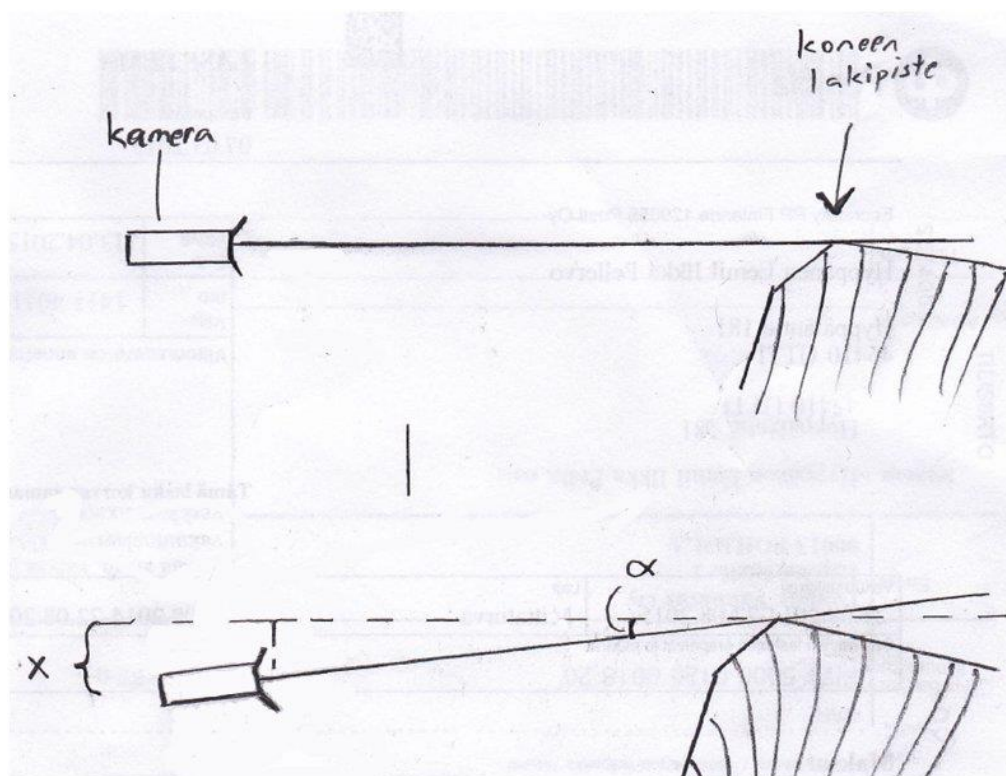
4.4 Laitteiston toteutustavan päättäminen

Tehdyn taustakartoitusten perusteella konenäkö olisi toteutuksellisesti turhan arvokas. Jotta konenäkö kykenisi tunnistamaan koneen ja määrittämään kuvasta lakipisteen ja sen avulla korkeuden, tulisi jo pelkälle konenäölle hintaa tuhansia euroja. Lisäksi näkö vaatisi kuitenkin keinohorisonttikameran tapaan oman mastonsa, jolla anturi nostettaisiin ylemmäksi ja hintaa kertyisi vieläkin enemmän. Vastaavasti laserilla toteutetussa mittauksessa on ongelmansa ennen kaikkea heijastuksen saannissa ja lakipisteen määrittämisessä. Kuten konenäössä, ulkona päivänvalossa kykenevät, mittaukseen soveltuvat laseranturit tulisivat maksamaan 800 eurosta ylöspäin, joten hintaa lasertoteutukselle kertyisi yhtälailla. Todetuista syistä johtuen vaatimusten pieni tiputus ja keskittyminen puoliautomaattiseen keinohorisonttikuvaan perustuvaan laiteratkaisuun tuntuvat perustellun järkevältä. Keskitytään siis kehittämään tätä vaihtoehtoa eteenpäin.

5 HORISONTTIMENETELMÄ JA MITTAKULMAN HUOMIOINTI

Kuorma-autoa tai lavettiyhdistelmää ajateltaessa, oikeastaan ainoa järkevä sijoituspaikka laitteistolle olisi ohjaamon takana olevissa rakenteissa tai itse ohjaamon takaseinässä. Tällöin laitteisto olisi vähiten edessä lastatessa autoa, parhaiten suojassa ulkoisilta iskuilta ja nouseva teleskooppi laitteineen olisi helppo kiinnittää autoon.

Mitattaessa vain yhdestä kohtaa auton keulasta kohti perää, voi mittausetäisyys lakipisteeseen nousta merkittävän suureksi. Esimerkiksi koneen puomin ollessa muun rungon takana yhdistelmän perällä, voi puomi jäädä korkeimmaksi yhdistelmässä ja etäisyys keulaan olla jopa 10 metriä. Tästä seuraa, että mikäli korkeusmittaus perustuisi teleskooppijalustan nousukorkeuden määrittämiseen yhdessä vaakasuuntaisessa tasossa määritettävään lakipisteeseen, nousee mittauksen kannalta merkittäväksi määrittää tason vaakasuuntaisuus tarkasti. Havainnollistetaan tätä hiukan laskennalla. Kuvan piirroksessa, Kuva 4, kameralla määritetään keinohorisontin avulla koneen lakipistettä. Ylempisessä piirroksessa kamera on vaakatasossa ja alemmassa on kameran kulmassa pieni heitto suhteessa vaakatasoon.



Kuva 4. Kulman vaikutus korkeuden mittaukseen

Lasketaan esimerkki, jossa kameran vaakasuuntainen etäisyys koneen lakipisteestä on 10 metriä ja sovitaan kameran kulman heitoksi 2 astetta. Trigonometrian lakien mukaan

kameran tason ja vaakatason ero x voidaan laskea jo aikaisemmin laserosiossa esitetyllä kaavalla 1, eli:

Kaava 1
$$x = \tan \alpha * y$$

Koska y on kaavassa kohteen etäisyys, saadaan tulokseksi että 10 metrin mittausetäisyydellä ja 2 asteen kulmavirheellä kamera jää noin 35cm alle vaakatason. Koska kameran korkeuden perusteella määritetään yhdistelmän korkeus, tarkoittaa tämä samaa 35cm heittoa korkeusmittauksessa. Kulman vaikutuksen minimoimiseksi tulee siis kulman virhe olla riittävän pieni. Alla oleva Taulukko 2 listaa muutamia eri kulmavirheitä ja niistä aiheutuvaa korkeuden mittausvirhettä eri etäisyyksillä.

Taulukko 2. Kulman vaikutus mittausvirheeseen

lakipisteen etäisyys kamerasta (y)= metriä, m	kulmavirhe (alfa) = astetta, deg					
	2°	1°	0,5°	0,2°	0,1°	0,01°
10m	34,92	17,46	8,73	3,49	1,75	0,17
8m	27,94	13,96	6,98	2,79	1,40	0,14
6m	20,95	10,47	5,24	2,09	1,05	0,10
4m	13,97	6,98	3,49	1,40	0,70	0,07
2m	6,98	3,49	1,75	0,70	0,35	0,03
	*tulokset settimetreinä (cm)					

Taulukon perusteella voidaan todeta, että päästäksemme riittävään tarkkuuteen mittauksessa tulisi kulma pystyä määrittämään ainakin 0,2 asteen tarkkuudella.

5.1 Mittauskulman varmistaminen

Auton liikuessa voi metsäautoteiden huono kunto aiheuttaa suuriakin tärähdyksiä, jolloin kameralaitteisto voi taittua mittaussuunnasta vinoon. Jotta voidaan varmistua kameran oikeasta kulmasta mittausta suoritettaessa, tulisi se aina tarkastaa ennen mittausta. Korkeusmittauksen onnistumiseksi kamera tulee olla suunnattuna niin, että se on samassa kulmassa auton rungon kanssa, eikä suhteessa maan vetovoimaan. Tällöin voidaan mittausta suorittaa myös auton ollessa kaltevassa mäessä. Tähän tehtävään voisi soveltua

kaksi erillistä kallistusanturia. Anturi 1 olisi kiinnitetty auton runkoon mitatakseen auton asennon suhteessa maan vetovoimaan ja anturi 2 olisi kameran jalustassa tarkkailemassa kameran asentoa. Kameran jalustassa olisi oma kallistusjärjestelmänsä, jonka avulla kameran kallistusta voidaan säätää. Anturilta 1 tuleva auton kaltevuustieto tuotaisiin ohjelmoidulle kortille / mikropiirille, joka vertaisi anturin antamaa tietoa kameran jalustan, anturin 2, tietoon. Mikäli anturien arvot poikkeaisivat toisistaan, voisi järjestelmä kääntää jalustaa niin, että anturin 2 ja anturin 1 antama kaltevuustieto on sama, jolloin auto sekä kamera olisivat samassa kulmassa.

5.2 Puoliperäyhdistelmän korkeuden mittaus

Jotta kehitettävällä mittalaitteistolla olisi markkina-arvoa, tulee sen soveltua ritiläkuorma-autojen lisäksi puoliperäyhdistelmiin. Jos laitteisto asennetaan puoliperäyhdistelmässä kiinni vetoautoon, tulee mittaukseen ottaa huomioon auton ja perävaunun välinen mahdollinen kulma. Havainnollistetaan tätä seuraavassa kuvassa:



Kuva 5. Auton ja lavetin välinen kulma (Wikimedia)

Perävaunun ja auton välisen kulman vaikutus voidaan poistaa, jos lisätään yksi kallistusanturi perävaunun runkoon ja määritetään lisäksi vetopöydän taitoksen etäisyys mittalaitteiston pylväästä. Kameran jalusta saadaan säädettyä perävaunun anturin ansiosta samaan kulmaan perävaunun kanssa. Vetoauton eri kulma verrattuna perävaunun kul-

maan joko lisää tai vähentää korkeutta, johon kameran tulee nousta kyydissä olevan koneen lakipiste saavuttaakseen. Kun vetoauton kulma ja perävaunun kulma vaakatasoon nähden, sekä laitteiston kameran vaakasuuntainen etäisyys vetopöydän nivelestä tiedetään, voidaan korkeusmittaukseen aiheutuva heitto laskea pois trigonometriaa käyttäen. Korjattu yhdistelmän korkeus voidaan laskea kaavalla:

Kaava 3.
$$h_{yhd} := \cos(\alpha + \beta) \cdot (h_{mit} + h_a) - \sin(\alpha + \beta) \cdot h_v$$

jossa,

h_{yhd} = yhdistelmän korkeus

α = vetoauton kulma suhteessa vaakatasoon

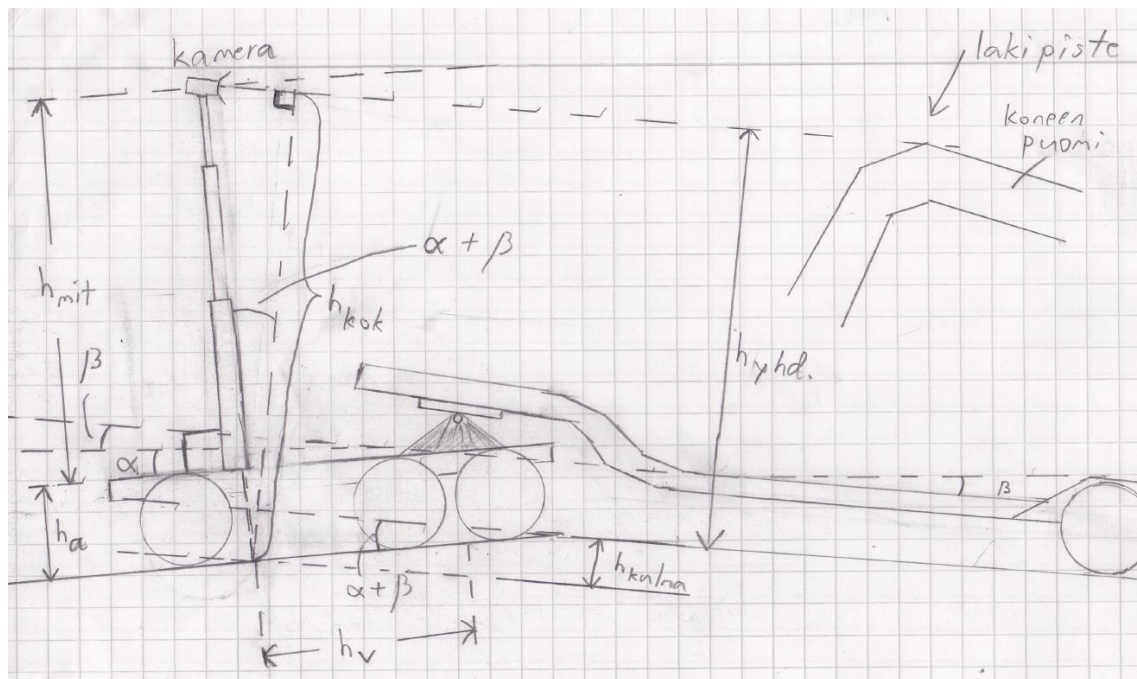
β = perävaunun kulma suhteessa vaakatasoon

h_{mit} = kameran korkeus / lakipiste määritettynä

h_v = vetopöydän nivelen etäisyys kameran mastosta

h_a = auton alustan korkeus mittalaitteiston nollatasoon.

Havainnollistetaan kaavan muodostumista vielä kuvalla: Kuva 6.



Kuva 6. Puoliperäyhdistelmän kulman vaikutuksen laskenta

Kuva esittää vetoauton runkoa, perävaunuineen. Kuvassa on havainnollistettu tarvittavia mittoja sekä laskentaa puoliperäyhdistelmän kulman vaikutuksen poistamiseksi. Vasemmassa reunassa nähdään laitteistolla saatava korkeusmitta: h_{mit} . Lisäksi näemme

kuvassa auton kulman α , sekä perävaunun kulman β suhteessa vaakatasoon. Kamera käännetään kallistusanturien antamien tietojen perusteella perävaunun kanssa samaan kulmaan. Jotta todellinen lakipisteen korkeus, eli $h_{yhd.}$ saadaan selville, tulee ensin laskea kamerapylvään oikealle puolelle piirretty h_{kok} , josta vähennetään auton ja perävaunun välisen kulman vaikutus korkeuteen, eli h_{kulma} . Alla näemme kaavat mitoille h_{kok} ja h_{kulma} .

Kaava 4.
$$h_{kok} := \cos(\alpha + \beta) \cdot (h_{mit} + h_a)$$

Kaava 5.
$$h_{kulma} := \sin(\alpha + \beta) \cdot h_v$$

Yhdistämällä kaavat 4 ja 5 muodostuu edellä mainittu kaava 3.

6 LAITTEISTON OSIEN MÄÄRITYS

Korkeuden horisonttimenetelmän toimivuuden testaamiseksi tulee menetelmää testata jonkinlaisella prototyypillä. Tämän lopputyön lopulliseksi tavoitteeksi muodostuikin testata horisonttimenetelmän toimivuutta käytännössä. Kuitenkin laajemman lopullisen laitteiston kokonaiskuvan luomiseksi olen tehnyt myös selvitystä muista tarvittavista osista autoon asennettavaan laitteistoon. Tässä kappaleessa käsitellään kiteytetysti horisonttitestauksessa tarvitun kallistusanturin lisäksi myös autoon asennettavaa kamerayksikön mastoa sekä kameran korkeuden määrittämiseen tarvittavaa mittaustekniikkaa. Horisonttimenetelmän testaus on esitelty tarkemmin jäljempänä.

Toimiva korkeuden mittaus keinohorisontilla vaatii tietysti jonkin verran tekniikkaa. Lopullisessa autoon tulevassa laitteistossa kuva tulisi tuoda omalle näytölle tai tietokoneelle autoon. Tarvittavia komponentteja laitteiston toteuttamiseen ovat:

- kamera yksikkö riittävällä zoomi-toiminnolla
- kameran teleskooppimasto
- kameran korkeutta mittaava anturi (ultraääni, laser tai potentiometri)
- alustan korkeutta mittaava anturi: kameran nollatasosta maahan
- näyttö/tietokone, johon kamerakuva tuodaan
- kameran ohjaus autosta, korkeussäätö, zoomi, yms. (kytkin / rulla / joystick)
- kallistusanturit valvomaan auton kaltevuutta ja kameran kaltevuutta
 - o puoliperäyhdistelmässä kallistusanturi myös perävaunuun

6.1 Kallistusanturit

Tarvittavien komponenttien kartoitusta tehtyäni selvisi nopeasti, että riittävään resoluutioon kykenevät kallistusanturit maksavat valmiina antureina, (yksikköhinta), n. 260–400€. Valmiissa paketissa tuleva anturi antaisi ulostulotietonsa joko analogisesti tai digitaalisesti, anturi on kytketty tarvittavaan kytkentäpiiriin ja se toimitetaan suojakuoresa. Käyttäjän tarvitsee vain kytkeä tarvittava kaapeli anturin ja sitä käyttävän ohjelmiston välille ja kalibroida se toimintaan. Mittausteknillisesti kallistuksen valvontaan riittäisi sektorille $\pm 30^\circ$ kulman tarkkailuun kykenevä anturi, muttei laajempi toimintakulma

vaikuta hintaan kovinkaan paljon. Seuraavassa kuvassa, Kuva 7, on yksi tarkoitukseen sopiva valmis anturiratkaisu ja perään listattuna tärkeimpiä suoritusarvoja, Taulukko 3.



Kuva 7. Kallistusanturi: QG65-KD-030H-AV-CM (Aseko)

Taulukko 3. QG65-KD-030H-AV-CM

Model	: QG65-KD-030H-AV-CM
Sensor type	: Inclination sensor
Number of axis	: 2 axis horizontal mounting
Measuring range	: $\pm 30^\circ$
Output	: 0,5 - 4,5 V
Supply voltage	: 8 - 30V dc
Centering	: Yes (2,5 V = 0°), range: $\pm 5^\circ$
Resolution	: $0,01^\circ$
Accuracy	: overall $0,05^\circ$ typ.
Bandwidth	: 10 Hz
Temperature range	: $-40 \dots +85^\circ\text{C}$
Connection	: M12 male 8p connector
Housing	: Plastic injection molded housing (Faradex DS, black, EMI shielded by stainless steel fiber in PC)
Dimensions	: 60x50x27 mm
Certification	: CE

Tarkemmat tekniset tiedot voi nähdä lataamalla PDF esitteen osoitteessa:

<http://dis-sensors.com/en/products/inclination-sensors/qg65-md-030h-av-cm/>

Vaikka kehitettävää järjestelmää tehtäisiin sarjatuotantona, minkä seurauksena yksikkö-hinta anturille tippuisi varmasti, jäisi sille siltikin merkittävästi hintaa. Tietysti optimaalisinta olisi, että anturin toimittaja kykenisi toimittamaan mahdollisimman suuren osan järjestelmään tarvittavista osista, jolloin hintaa saataisiin vieläkin alaspäin.

Toinen vaihtoehto kallistuskulman määrittämiseen voisi olla erillisen kallistuskomponentin hankinta ja rakentaa itse tarvittava käyttöpiiri komponentille. Erillisenä komponenttina tarvittavaan resoluutioon kykenevä komponentti kustantaisi 95–115€ kappaleelta. Erilliskomponenttien hinta tippuisi massatilauksissa noin puoleen, jolloin komponentin kustannus olisi jo merkittävästi inhimillisempi. Tarvittavat muut komponentit ja piirilevypohja maksavat vain muutamia euroja, joten hinta yksittäiskappaleellekin olisi vain 100 ja 150€ välissä. Mikä parasta, itse tehdyn alemman hinnan lisäksi anturipään voisi rakentaa järjestelmään erityisesti sopivaksi, esimerkiksi puoliperävaunuun tuleva anturi voisi toimia langattomasti. Erillinen sopiva anturikomponentti on seuraavassa kuvassa, Kuva 8 ja alla Taulukko 4, jossa anturikomponentin suoritusarvot.



Kuva 8. Kallistuskomponentti: MURATA SCA100T-D01 INCLINOMETER, 2-AXIS, SPI, SMD (Elfaelektroniikka)

Taulukko 4. SCA100T -series suoritusarvotaulukko

Parameter	Conditions	SCA100T D01	SCA100T D02	Unit
Measuring range ⁴⁾		+/- 0,5 +/- 30	+/- 1 +/- 90	G °
Repeatability at 0° (horizontal position) ¹⁾	at 20°C, typically	0,25 0,014	0,25 0,014	mg °
Resolution at 0° / 1g	DC .. 1Hz	0,015 0,001	0,015 0,001	mg °
typ. Offset temperature dependency	20...60°C	-0/+0,066 -0/+0,006	-0/+0,066 -0/+0,006	mg / °C ° / °C
long term stability ⁶⁾	10 years ⁶⁾	0,62 0,036	0,62 0,036	mg °
Measuring direction	horizontal	x-axis	x-axis	
Cross axis sensitivity ²⁾		4	4	%
Damping	-3 dB	18	18	Hz ⁵⁾
Operating temperature range		-40 .. +125	-40 .. +125	°C
Shock resistance Chip		20'000	20'000	g
Output signal V _{out}		0,5 .. 4,5	0,5 .. 4,5	V
Offset = V _{out} in 0° / rest pos.		2,5	2,5	V
Sensitivity		4	2	V/g
Power supply ³⁾		5	5	VDC

- 1) **Repeatability:** maximum offset occurring with position change after return to initial position (corresponds to achievable precision, including temperature hysteresis after temperature compensation and linearization).
- 2) **Cross axis sensitivity:** maximum error occurring with (additional) inclination or acceleration from another direction than the measuring plane
- 3) **Supply** must be 5V DC stabilized; variations affect the measurement
- 4) **Measuring range:** Trigonometric function:

$$\text{angle} = \arcsin\left(\frac{V_{\text{out}} - 2,5 (\text{Offset})}{\text{Sensitivity}}\right)$$

(paste values without units)
- 5) Typical values;
- 6) **Long term stability:** calculated values from HTB tests. Test results available at request.

Anturin tarkemmat tiedot on saatavissa osoitteesta:

https://www.elfaelektroniikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=73-299-73&toc=0&q=SCA100T-D01

6.2 Kamerayksikkö

Kamerayksiköksi korkeudenmittaukseen kelpaa teknillisen suorituskyvyn puolesta kuvaa näytölle tuottava objekti. Toteutuksen kannalta näytölle tuotavan kuvan resoluution tulee vain olla riittävän tarkka koneen rajojen selkeään tunnistamiseen. Tämä todennäköisesti onnistuu keskinkertaisemmallaakin kameran resoluutiolla, vaikka HD-tasoiset kameratkaan eivät nykyään maksa järin paljon. Toinen mietittävä seikka kamerayksikköä hankkiessa, on objektin zoomi-toiminto. Riittävällä optisella tarkennuksella myös kauempana sijaitseva lakipiste voidaan määrittää tarkasti. Kameran kuvaa ajateltaessa, horisonttiviiva on piirrettynä virtuaalisesti näytöllä näkyvään kuvaan. Viivan paksuus on aina vakio, joten myös kuvasta peittyvä ala on vakio. Mikäli objekti mahdollistaa kohteen lähestymisen, viivan vaikutus luonnollisesti vähenee ja lakipisteen raja voidaan määrittää tarkemmin. Objektia valittaessa tulee kuitenkin muistaa, että korkeusmittausta saatetaan tehdä myös pimeällä, vain auton työvalojen loisteessa, jolloin objektin tulee omata riittävä valovoima. Käytännössä kamerayksikön valinta on näiden ominaisuuksien järkevän kompromissin hakemista. Koska kohteen lakipisteen etäisyys voi enimmilläänkin olla n. 10-15m, olisi esimerkiksi kymmenenkertainen optinen zoomi vallan riittävä tarkoitukseensa.

Kamerayksiöksi järkevä vaihtoehto voisi olla turvakameramoduuli. Monet turvakamerat on suunniteltu toimimaan hyvin samankaltaisissa vaihtelevissa olosuhteissa kuin mitauslaitteiston toimintaolosuhteet. Turvakameran valmiita hyötyjä ovat:

- riittävä optinen tarkennus / zoomi
- suunniteltu myös hämäräkuvaukseen
- suojattu pölyltä, lialta ja vedeltä.
- valmis videolähtö kamerasta
- suunniteltu monesti kestäämään myös tärinää / iskuja

Esimerkiksi Sonyn FCB-EX20D 1/3" NTSC Color Block Camera voisi sopia ominaisuuksiensa puolesta tarkoitukseen. Kyseinen kamera vaatisi kylläkin suojakuoren suojaamaan lialta ja vedeltä sekä lämmityksen talvipakkasille. Kamerasta on seuraavassa Kuva 9 ja perään listattuna ominaisuustietoja.



Kuva 9. Sony FCB-EX20D 1/3" NTSC Color Block Camera (rmaelectronics.com)

Kameran ominaisuuksia tiivistetysti:

Camera Specifications Detail:

Image Device	1/3 type Super HAD II CCD
Effective Pixels	Approx. 380,000 pixels
Digital Zoom	12x (120x with optical zoom)
Horizontal Viewing Angle	50°.0 (wide end) to 800 mm (tele end)
Minimum Object Distance	15mm (wide end) to 800 mm (tele end)
Sync System	Internal/External (V-lock)
Electronic Shutter	1/1 to 1/10,000 s, 22 steps
White Balance	Auto, ATW, Indoor, Outdoor, One-push, Manual
Gain	Auto / Manual (-3 to 28 dB, 2dB steps)
EV Compensation	-10.5 to 10.5 dB (1.5 dB steps)
Backlight Compensation	On/Off
Privacy Zone Masking	On / Off (24 position, 8 position per screen, 14 colors & mosaic)
Character Generator	Mode display On/Off (White Balance, Gain, etc.) Title display Max 11 lines (20 characters/ lines)
Flicker Cancel	Auto
Focus System	Auto (Sensitivity, normal, low), One-push AF, Manual, Infinity, Interval AF, Zoom trigger AF
Picture Effects	E-Flip, Nega Art, Black & White, Mirror Image
Lens Mount	10x Optical Zoom (f=5.1mm wide to 51.0mm tele) F1.8 to F2.1

Video Output Specifications Detail:

S/N Ratio	More than 50 dB
Minimum Illumination	1/60 s, 1/50s mode: 0.25 lx (typical) (F1.8, 50 IRE)
Signal System	NTSC
Horizontal Resolution	On/Off (On: 530 TV Lines)

Interfaces Specifications Detail:

Camera Control Interface VISCA (TTL Signal level), baud rate: 9.6 Kb/s, 19.2 Kb/s,
1 or 2 stop bit selectable

General Specifications Detail:

Dimensions (W x H x D) 49.5 x 43.1 x 67.2 mm (1-13/16 x 1-3/4 x 2-3/4 inches)

Weight 140 g (5 oz)

Operating Temperature 0° C to 50°C

Storage Temperature -20° C to 60°C

Power Consumption 6 to 12 V DC/2.4W (motors inactive), 6.5W (motors ac-
tive)

(pro.sony.com)

<https://pro.sony.com/bbsc/ssr/product-FCBEX20D/>

6.3 Kameran masto

Kameran nousevan maston tulee nostaa kamera riittävän ylös mittausta tehdäkseen ja vastaavasti sen tulee painua reilusti kasaan siirron ajaksi. Tässä mielessä yksittäinen sylinteri ei voi tulla kyseeseen, sillä nostokorkeus voi olla useita metrejä. Maston käyttöratkaisua etsittäessä, olisi järkevää valita voimanlähde, joka hyödyntää jo autosta löytyviä voimanlähteitä. Esimerkiksi paineilmatoiminen teleskooppi voisi olla ratkaisu, sillä kuorma-autossa paineilmaa olisi jo valmiiksi saatavilla. Vaihtoehtoisesti teleskooppi voisi toimia pienen sähkömoottorin voimin, mutta tällöin moottori olisi erikseen laitteistoa varten hankittava. Mikä laitteiston lopullinen käyttövoima sitten onkin, tulee huomioda että nostokorkeuden säädössä päästään riittävään tarkkuuteen, jotta kuljettaja voi määrittää korkeuden riittävän tarkasti. Järkevään toimivaan mekanismiin, joka nostaa kameran useiden metrien korkeuteen suhteellisen ripeästi ja vielä lopussa kykenee hienosäätötarkkuuteen, voi yksirakenteisella ratkaisulla olla vaikeaa päästä. Vaihtoehto voisi olla päämaston päähän asennettava lineaariaktuaattori toimintasäteellä 30-50cm, millä lopullinen korkeuden hienosäätö tehdään.

Työn taustatyötä tehdessäni selvitin erilaisia vaihtoehtoja kameran maston toteutukseksi. Tarkastelin erilaisia paineilmatoimisia teleskooppeja. Esimerkiksi palokunta ja pelastustehtäviä tekevissä autoissa on kiinteästi autoon asennettuja valomastoja, jotka toimivat paineilmalla, sähköllä tai käsikäyttöisellä veivillä. Löytämieni vaihtoehtojen ongelmana on ollut niiden suuri koko ja tästä seuraava kalleus. Monet markkinoilta löytyvät mastot, jotka yltyvät useisiin metreihin, kykenevät nostamaan suuriakin massoja. Löytämäni kevyemmät teleskoopit ovat lähes poikkeuksetta kyenneet nostamaan kuormia 20-200kg väliltä. Tällaisten mastojen yksikköhinnat pyörivät 300–1500€ välissä. Tässä työssä maston päähän asennettava järjestelmä tulee painamaan maksimissaankin n. 2kg, joten olisi turhaa sijoittaa massiivisesti ylimitoitettuun mastoon. Vaihtoehto voisi tietysti olla kehittää myös masto itse tai hankkia se tilaustyönä jonkin alihankkijan kautta. Tilaustyönä tehty toki kustantaisi yksittäiskappaleena runsaasti, mutta mikäli laitteita myytäisiin enemmän, hinta luonnollisesti tippuisi. Kuitenkin lopullista maston valintaa varten tarkempaa tutkimusta pitäisi tehdä. On mahdollista että kevyempiä mastoja on tarjolla, mutta en ole vielä niiden toimittajia löytänyt.

6.4 Kamerayksikön korkeuden määrittäminen

Kuten aiemmin kappaleessa 2.4 todettiin, on kamerayksikön korkeuden määrittämiseen useampia eri vaihtoehtoja:

- ultraääni
- laser
- potentiometri

Näistä kolmesta, ultraääni sekä laser ovat vaihtoehtoja, joilla korkeudenmittaus kokonaisuudessaan maahan olisi mahdollista. Potentiometrin kohdallakin se teoriassa voisi olla mahdollista, mutta se edellyttäisi monimutkaista mekaanista ratkaisua, jotta etäisyys maahan asti voitaisiin määrittää. Potentiometrin potentiaalisin käyttökohde olisikin lähinnä maston nousun määrittäminen. Potentiometri voitaisiin liittää esimerkiksi mittakelaan, jonka nauhan pää olisi kiinni kamerayksikössä. Teleskoopin avautuessa rulla kelautuisi auki kääntäen samalla potentiometriä ja muuttaen näin ulos saatavaa arvoa. Kuitenkin tällaisessa toteutuksessa maston ns. nollassa, jossa masto on täysin kasassa, korkeus maasta pitäisi lisäksi selvittää, mihin vastaavasti voitaisiin käyttää esimerkiksi ultraääntä. ultraäänianturi sijoitettaisiin auton runkoon ja anturin korkeus suhteessa maston nollassa kalibroitaisiin. Kun anturin ja maston nollassa korkeusetäisyys olisi vakio, jäisi anturin tehtäväksi mitata alustan korkeuden muutosta.

Aikaisemmin kappaleessa 2.4 totesin myös etäisyyden mittauksen maahan olevan osin haasteellista, sillä tulokseen voi sattumalta vaikuttaa tien pinnan epätasaisuus. Ehdotin myös vaihtoehtoksi alustan korkeuden muutoksen vertaamista auton akseliin. Ongelmana akseliin korkeutta verrattaessa ovat muta sekä renkaiden painuminen kuorman kasvaessa. Renkaiden profiilin muuttumisella sinänsä on vain pien vaikutus lopulliseen korkeuteen ja se olisi suhteellisen helposti kalibroitavissa pois. Suurempi ongelma puolestaan olisi savi, muta tai muu roju, mikä kertyy monesti auton akselien päälle. Mikäli anturi mittaisi alustan korkeutta suhteessa akselin korkeuteen, olisi kertyneellä lialla suora vaikutus mittauskorkeuteen.

Toisena vaihtoehtona ultraäänien käyttöön alustamittauksessa, olisi mitata auton alustan korkeus suhteessa maahan useammasta kohtaa. Useammalla mittauspisteellä varustettuna virheen mahdollisuutta voitaisiin kompensoida. Lisävarmuutta alustan todelliseen

korkoon toisi, jos anturit sijoitetaan mahdollisimman lähelle pyöriä ja vielä mahdollisuuksien mukaan auton renkaan kulkulinjalle eli rengasuran kohdalle, jolloin mahdollinen metsäautotien keskivallin vaikutus ei häiritsisi mittausta. Ultraäänianturia ajateltaessa kuitenkin pitää huomioida sen häiriöalttius. Kuitenkin verrattaessa ultraäänianturin hintaa suhteessa laseriin, on selvää että ultraääntä käytettäessä kustannukset jäisivät alhaisemmiksi.

Kolmantena vaihtoehtona listassa oli lasermittaus. Lasermittauksella etäisyys maahan saataisiin tarkasti ja varmasti mitattua. Jälleen kerran tien epätasaisuus voi vaikuttaa mittaustulokseen, jolloin tämän tekijän huomioimiseksi voisi olla hyvä mitata etäisyys useammasta pisteestä. Kuitenkin laseranturin epäedullisin puoli on sen hinta. Kuten aiemmin kappaleessa 4.2 todettiin, tarkemmat laseranturit, jotka pystyvät mittaamaan useampien metrien etäisyyksiä myös tummiin kohteisiin, maksavat satoja euroja. Tässä mielessä useampi anturi alustan mittaukseen kuulostaa jälleen kerran kohtuuttomalta.

Viimeisenä vaihtoehtona korkeuden mittaukseen esittäisin vain laajempaa laitteiston ohjelmointia ja kalibrointia. Vaihtoehto voisi olla, että ainoastaan maston nousukorkeus mitattaisiin ja itse alustan korkeus olisi jo ennalta määritelty laitteistoa kalibroitaessa. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että kalibroitaessa laitteistoa, korkeus mittaus laitteella suoritettaisiin useammille eri koneille ja kuormille, minkä pohjalta auton jousituksen painumisesta tehtäisiin asteikko / käyrä, mikä tallentuisi järjestelmän tietoihin. Jotta vertailukäyrästä olisi iloa, tulisi kuljettajan tietää koneen massa ja ilmoittaa se järjestelmälle manuaalisesti siirtoja tehdessä, tai vastaavasti kuorman määrittämiseen voitaisiin käyttää apuna kallistusanturia. Kallistusanturin käyttö vaatisi kuitenkin hyvin monimutkaisen laskennan, jotta mittaustuloksia voitaisiin luotettavasti verrata myöhempien siirtojen kuormituksiin ja kuormien massojen vaikutusta korkeuteen oikeasti kompensoida.

7 KEINOHORISONTTIMENETELMÄN TESTAUS

Mittausteknisesti järjestelmän toimivuuden suurin haaste on koneen lakipisteen tunnistaminen sekä mitta-anturin, eli tässä tapauksessa kameran korkeuden tarkka määrittäminen vastaamaan koneen lakipisteen korkeutta. Tämän jälkeen varsinainen kameran korkeuden mittausta on helppo toteuttaa. Edellä esitettyjen perusteiden valossa on selvää, että menetelmän testaamisessa pitää ennen kaikkea paneutua lakipisteen tunnistukseen ja kameran kulman vaikutukseen.

Koska tämä lopputyö tehdään täysin omaan käyttöön, eikä yritykselle, käytössä oleva budjetti on rajallinen. Teknisen toimivuuden toteamiseksi oli kuitenkin olennaista yksinkertaisen testilaitteiston rakentaminen. Tässä kappaleessa esitellään rakennettu prototyyppi laitteistosta sekä sillä mitatut testit sekä tulokset.

Niukan käytössä olevan budjetin myötä päädyin hyödyntämään työssäni mahdollisimman paljon jo käytössä olevia laitteita. Menetelmän simulointiin ja testaamiseen riittää jonkinlainen säädettävä kameramasto korkeusmittauksella, kamerayksikkö, kallistusanturit sekä kameran kaltevuuden säätömekanismi. Lisäksi tietysti tarvitaan ohjainpiiri, jolla kameran kallistusta säädetään antureilta tulevan tiedon valossa.

7.1 Kamerayksikkö

Koska lopulliseen laitteistoon hankittava kamerayksikkö tulisi maksamaan yksittäisenä kappaleena satoja euroja, päätin tässä prototyypissä hyödyntää omaa järjestelmäkameraani. Kamera on Sony SLT A57. Kamerassa on Sigma Dc 18-200mm objektiivi, mikä kykenee noin 11,5 kertaiseen optiseen zoomi-toimintoon. Kamera on varustettu keinohorisontilla. Kameran keinohorisontin viivoitusta voi käyttää lakipisteen määrittämiseen, mutta koska kameran sisäisen kallistusanturin resoluutio ei ole riittävä, tulee kameran jalustaan asentaa erillinen kallistusanturi testejä varten.

7.2 Kameramasto

Kameramastoksi rakensin yksinkertaisen kierretankoperaatteella toimivan liukukiskomekanismin. Testattaessa järjestelmän toimivuutta, parin metrin säätövara korkeudessa riittää mainiosti. Kierretankomekanismi mahdollistaa suhteellisen tarkan portaattoman korkeuden säädön, mikä on testauksen kannalta hyvä asia. Korkeuden säätö tapahtuu tässä tapauksessa manuaalisesti joko käsikäyttöisellä räikällä tai mutterinvääntimellä. Seuraavassa kuvassa: Kuva 10, on nähtävissä rakentamani testimasto.



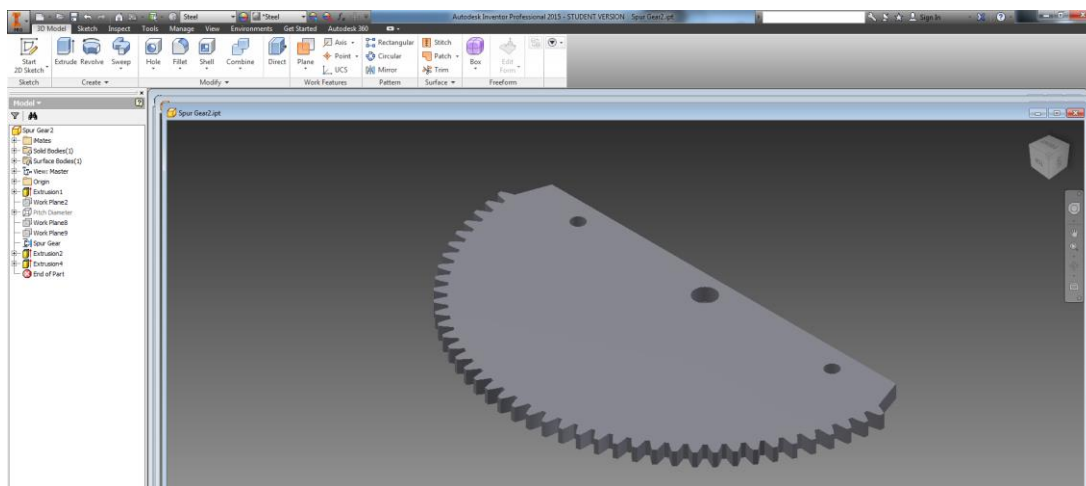
Kuva 10. Kameramasto

7.3 Kameran kallistus

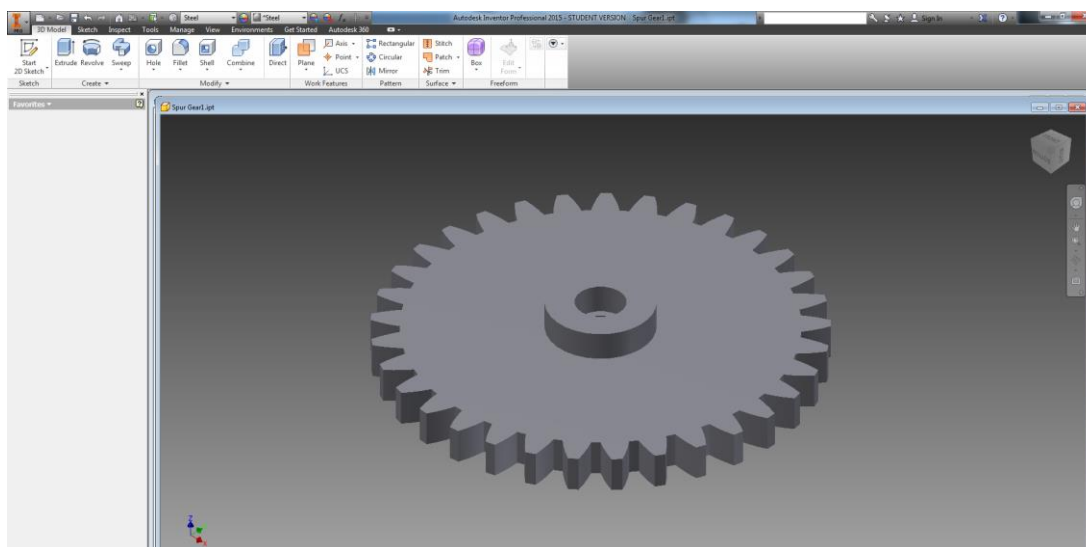
Kameran kallistusmekanismiin päätin toteuttaa sähköisellä askelmootorilla sekä rakentamalla sille sopivan vaihteen. Askelmootorin sain lainaksi Kouvolan ammattikorkea-

koulusta. Moottori on mallia Microcon SX17-1005 2 Phase Stepper Motor, eli kaksivaiheinen askelmoottori. Moottorin yhden askeleen astekulma on 1,8 astetta. Koska kallistuskulma pitää kyetä määrittämään tarkasti, noin 0,2 asteen tarkkuudella tai tarkemmin, tulee kääntömekanismi varustaa riittävällä alennusvaihteella.

Alennusvaihteeseen suurimman osan tarvittavista rattaista sain vanhasta tulostimesta. Viimeisen, puolikkaan hammasrattaan, joka kiinnitettiin taittopöytään, piirsin Autodesk Inventor -ohjelmalla ja tulostin koulun 3D-tulostimella. Koska vanhasta tulostimesta saatujen rattaiden hammastukset olivat hyvin pieniä, eikä 3D-tulostimen resoluutiokyvystä ollut täyttä varmuutta, päätin tulostaa puolikkaan rattaan reilusti suuremmalla hammastuksella ja tulostaa sille myös vastarattaan. Rattaiden 3D kuvat ovat alla: Kuva 11 ja Kuva 12.



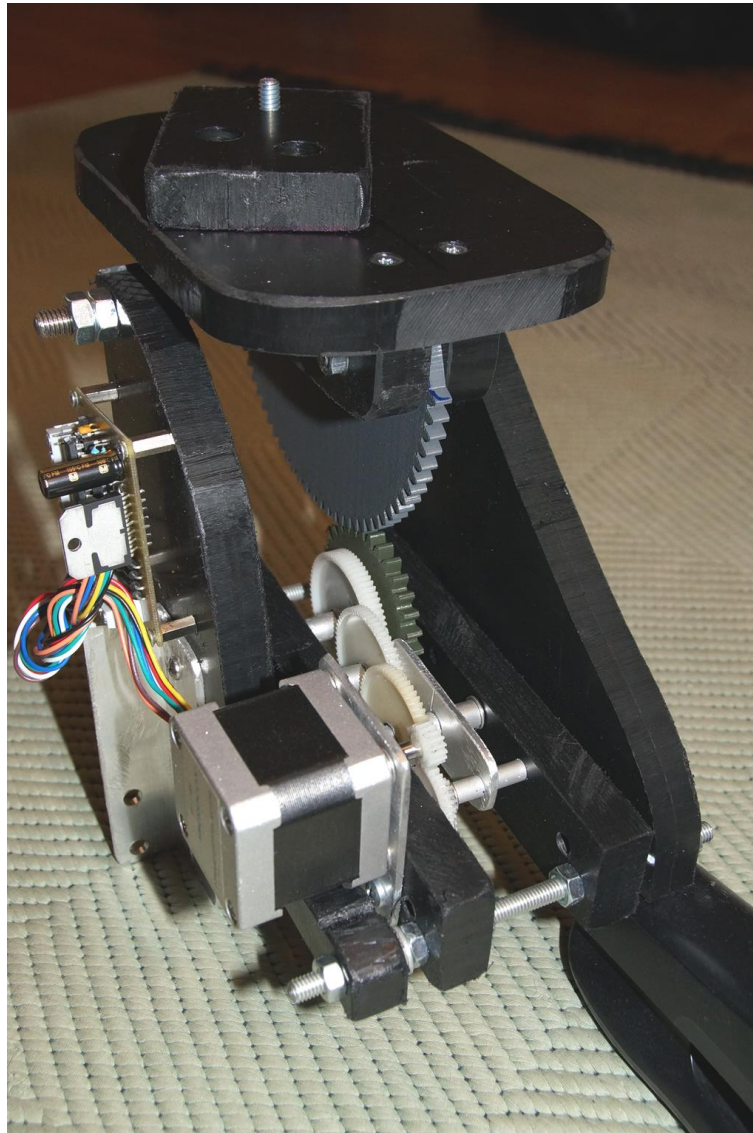
Kuva 11. Taittopöydän ratas



Kuva 12. Taittopöydän vastaratas

Kuten kuvasta Kuva 12 näemme, vastarattaan keskelle tein sovitteen, jotta liitos samalle akselille tulevan tulostimen rattaan kanssa saatiin tukevaksi.

Aikaansaatu kääntömekanismi on esitetty seuraavassa: Kuva 13.



Kuva 13. Kameran taittomekanismi

Rakennettu vaihde on hammaslukuiltaan moottorilta lähtien seuraava:

- moottori: 18
- ratas II: 41/15
- rastas III ja IV: 68/19
- ratas V: 73
- ratas VI: 33

- ratas VII: 84

Listauksessa kahden luvun rattaissa oli kaksi hammaskehää yhdessä. Moottorilta tuleva veto tulee aina rattaan suuremmalle hammastukselle ja lähtevä voima välitetään pieneltä rattaalta eteenpäin. Yhden vaihteen välitys voidaan laskea kaavalla:

Kaava 6.
$$R := \frac{N_B}{N_A}$$

jossa,

R = välityssuhde

N_B = käytettävän rattaan hammasluku

N_A = käyttävän rattaan hammasluku

Seuraavassa on esitetty rakennetut vaihdevälitykset:

- välitys I: $41/18 = 2,278$
- välitys II: $68/15 = 4,53$
- välitys III ja IV: $68/19 = 3,58$
- välitys V: $73/19 = 3,84$
- välitys VI: $84/33 = 2,54$

Tästä saadaan lopulliseksi välitykseksi:

$$v_{\text{kok}} = 2,278 \times 4,53 \times 3,58 \times 3,58 \times 3,84 \times 2,54$$

$$v_{\text{kok}} = 1157,5$$

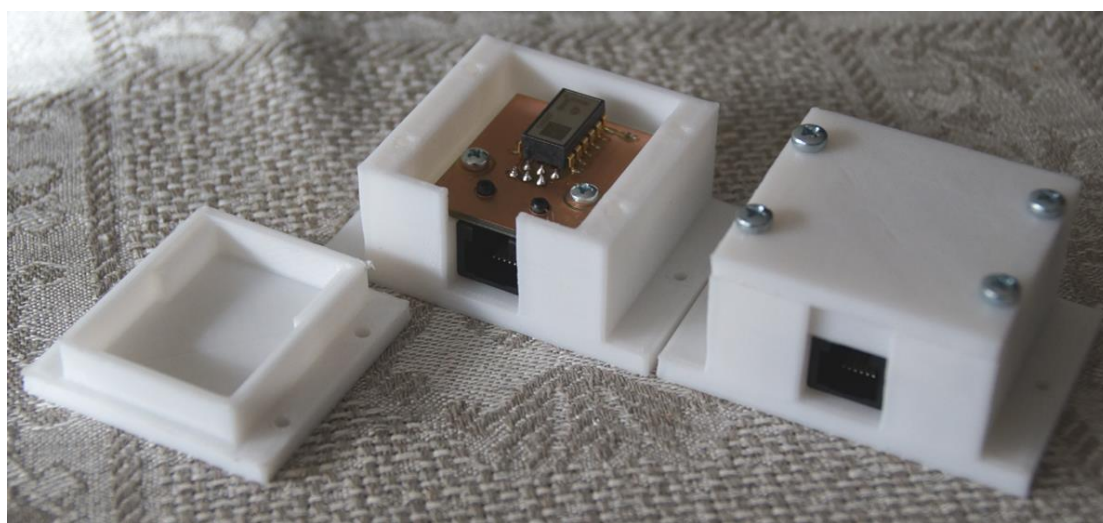
Toteutetulla vaihteistolla saadaan kameran jalustan astekulmaksi, kun moottorin kääntyy yhden askeleen:

$$1,8^\circ / 1157,5 = 0,001556^\circ$$

Tällä vaihteistorakenteella kameran kulman säätötarkkuus on täysin riittävä.

7.4 Kallistusanturit

Kallistusantureiden valinnassa päädyin erilliskomponenttien tilaamiseen ja tekemään piirikortit erikseen kustannusten säästämiseksi. Samalla tarjoutui mahdollisuus oppia myös piirikorttien valmistusta. Kallistusanturikomponenteiksi tilasin edellä kappaleessa 6.1 esitetyt MURATA SCA100T-D01 anturikomponentit. Koska veljeni opiskelee Kouvolan ammattikoulussa elektroniikkaa, ja heiltä löytyy tarvittavat laitteet piirikorttien valmistukseen, oli luonnollista käyttää ammattikoulun ja veljeni apua sekä tietotaitoa piirikorttien tekemisessä. Piirikorttien tekeminen on esitettyä myöhemmin kappaleessa 7.6.1. Kallistusanturien piirikorttien lähdöt päätin toteuttaa RJ12 liittimillä, jolloin tarvittavien kaapelien hankinta oli helppoa. Tehtäville anturipiirikorteille oli myös hyvä rakentaa jonkinlaiset suojakotelot. Koska antureita käytetään vain testikäytössä kuivissa oloissa, ei suurempaa kosteussuojaa koteloilta vaadita, minkä myötä päädyin suunnittelemaan kotelot Autodesk Inventor-ohjelmalla ja tulostamaan kotelot 3D-tulostimella. Alla on Kuva 14, jossa näemme toisen anturin kotelo avattuna ja toisen suljettuna.



Kuva 14. Valmiit kallistusanturit

7.5 Korkeudenmittausanturi

Testilaitteiston korkeuden mittaukseen päädyin edullisen hinnan perusteella käyttämään ultraääntä. Samalla anturiratkaisu mahdollisti ultraäänianturien toimivuuden testauksen häiriöiden kannalta. Ultraäänimoduuliksi tilasin Arduino HC-Sr04 ultraäänimoduulin.

Arduino tuotteet ovat elektroniikkaharrastajille tarkoitettuja valmiita elektroniikkakomponentteja, joilla voi toteuttaa ja rakennella erilaisia yksinkertaisia elektroniikkasovelluksia. Moduulin tekniset tiedot ovat:

- Power Supply :+5V DC
- Quiescent Current : <2mA
- Working Current: 15mA
- Effectual Angle: <15°
- Ranging Distance : 2cm – 400 cm/1" – 13ft
- Resolution : 0.3 cm
- Measuring Angle: 30 degree
- Trigger Input Pulse width: 10uS
- Dimension: 45mm x 20mm x 15mm

(<http://randomnerdtutorials.com>)

Anturin esite löytyy osoitteesta: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

7.6 Ohjainpiirit

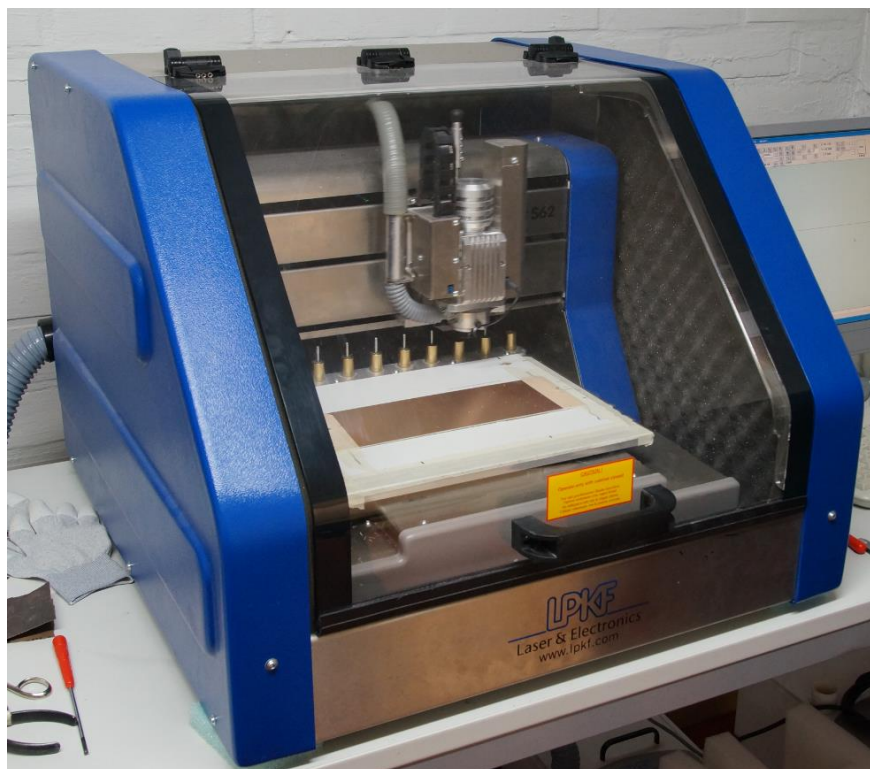
Ohjainpiirinä, eli prosessorikortina kameran kallistukselle tarjoutui mahdollisuus hyödyntää veljeni rakentamaa ohjelmointikorttia. Kortti on rakennettu käytettäväksi elektroniikka-asentajaopiskelijoiden taitajakisoissa. Kortissa on neljä käyttökytkintä, LCD-näyttö, summeri ja lämpötila-anturi. Korttia käytetään riviliittimen kautta 12V tasajännitteellä. Riviliittimestä löytyy myös 8 IO-kytkentää, 4 ADC-tuloa sekä 2 PWM kytkentää. IO, eli Input/Output liitännät toimivat nimensä mukaisesti tuloina tai lähtöinä. ADC, eli Analog Digital Converter liitäntä toimii tulona, johon tuodaan analoginen jännitearvo, minkä kortti muuttaa digitaalseksi arvoksi. PWM, eli pulssin leveysmodulaatio liitännät toimivat periaatteessa jännitelähtöinä. Lähdestä ajetaan ulos jaksotettua jännitettä minkä jaksot ovat 0v ja 5V. Jaksojen suhteesta riippuu ulostulevan jännitteen nimellisarvo. Esimerkiksi jos jaksojen 0V:5V suhde on 1:3, on ulos tuleva jännite 0,75 kertaa 5V, eli 3,75V. Kortti toimii hex ja elf kielellä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kortille ajettava koodi kirjoitetaan Atmel Studio -ohjelmalla C++ kielellä, minkä jälkeen ohjelma muuttaa koodin kortille sopivaksi.

7.6.1 Piirikorttien valmistus

Kallistusanturien piirikorttien lisäksi moottorille piti tehdä oma ohjainkorttinsa. Moottorin ohjainkortti sekä kallistusanturit puolestaan liitettäisiin koko järjestelmää ohjaavaan ohjainkorttiin.

Piirikorttien valmistus alkaa valitsemalla tarvittavat komponentit sekä suunnittelemalla komponenttien kytkennät. Yleensä komponentin valmistaja on jo määritellyt suositeltavat kytkentätavat komponentin tekniseen ohjeeseen. Valmistaja määrittelee esimerkiksi suositukset mahdollisille kondensaattoreille tai keloille, mitkä suojaavat komponenttia virtapiikeiltä. Komponenttien kytkennät suunnitellaan erillisellä suunnitteluohjelmalla, minkä perusteella piirikaavio piirretään. Kouvolan ammattikoululla käytössä kaavion suunnitteluun on Pads Logic -ohjelma. Kun kytkennät on suunniteltu, piirretään suunnitelman perusteella piirikavion vedokset Pads Layout-ohjelmalla. Piirikaavion voi piirtää joko täysin itse, tai vaihtoehtoisesti voi käyttää automaattista toimintoa, jolloin Layout piirtää piirin Logic-ohjelmalla tehdyn suunnitelman mukaisesti.

Piirikaavion piirtämisen jälkeen viedään saatu tallenne jysimelle, millä piirilevyn jysintä suoritetaan. Kouvolan ammattikoululla jysintään on käytössä LPKF Laser & Electronics AG:n valmistama ProtoMat S63 piirilevyjysin, Kuva 15 laitteesta alla.



Kuva 15. ProtoMat S63 piirilevyjyrsin

Kyseinen jyrsin jyrsii levyt mekaanisesti, mutta kalliimmat ammattilaismallit käyttävät yleensä laseria työstämiseen. Laser mahdollistaa paljon nopeamman ja vielä tarkemman työstön.

Piirilevyn jyrsinnän jälkeen levy hiotaan karkealla, esimerkiksi 320 vesihiomapaperilla, minkä jälkeen levyihin suihkutetaan suojalakka estämään hapettumista ja suojaamaan likaantumiselta. Ammattikoululla suojalakkana toimi Flux SK10 juotoslakka. Lakan kuivumiseksi piirilevy laitetaan vielä 50°C asteiseen uuniin noin 20 minuutiksi.

Piirilevyihin tulevat komponentit voidaan käytännössä jakaa kahdenlaisiin komponentteihin: pintaliitoskomponentteihin ja läpijuotettaviin komponentteihin. Pintaliitoskomponentit kytketään vain piirilevyn toiselle puolelle, kun taas läpijuotettavien komponenttien pinnit menevät piirilevystä läpi, jolloin itse juotos tehdään levyn kääntöpuolelle. Yleensä pintaliitoskomponentit pyritään juottamaan levyyn kerralla, käyttämällä hyytelömäistä juotosainetta eli ”pastaa”, jota annostellaan sopiva määrä piirilevyille jokaisen komponentin pinniliitoksen kohdalle. Tämän jälkeen komponentit asetetaan paikoilleen piirilevyille, minkä jälkeen piirilevy komponentteineen paistetaan n. 200°C asteisessa uunissa noin 110 sekunnin ajan. Paistossa juotosaine sulaa komponenttien pinnien ympärille. Juotosainetta ei saa annostella liikkaa, jotta piirien vedokset eivät pääse muodostamaan oikosulkuja keskenään, eikä paistamista saa venyttää liiaksi, jotteivat

komponentit kärsi kuumuudesta. Pintaliitoskomponentteja voidaan myös juottaa käsin, mutta komponenttien liitosten piennon vuoksi, se on verrattain hankalaa, joten sitä pyritään välttämään. Läpijuotettavat komponentit juotetaan levyyn käsin paiston jälkeen. Sarjatuotannossa juotostyöt tehdään nopeuden ja tarkkuuden parantamiseksi automaatiolinjastoja hyödyntäen robottien toimesta.

7.6.2 Laitteiston ohjelmointi

Laitteiston piirien kasauksen ja kytkennän jälkeen, on rakennettava ohjelma eli koodi, minkä mukaan laitteisto toimii. Tähän suunnitteluun käytettiin Atmel Studio -ohjelmistoa. Koodi kirjoitetaan C++ -kielellä, minkä jälkeen ohjelma kääntää sen tarvittavaan muotoon ja lataa ohjainyksikölle. Ennen koodin suunnittelua on hyvä määritellä perusidea, miten laitteiston tulisi toimia. Laitteiston toiminnasta tein suunnitelmat, mitkä voi nähdä liitteissä 1, 2 ja 3.

7.7 Testilaitteiston kokoaminen

Testilaitteiston kokoaminen alkoi aluksi mallikkaasti. Kameran kallistuspöydän ja vaihteiston rakentaminen sekä piirilevyjen suunnittelu kallistusantureille ja moottorinohjaukselle sujui ongelmitta. Moottorinohjauksen ohjelmointikin saatiin toteutettua ilman suurempia ongelmia. Muutamien osatilausten kanssa toimitusaika venyi suhteellisen pitkäksi, jolloin esimerkiksi kallistusanturien piirien kasaaminen viivästyi.

Suuremmat ongelmat alkoivat laitteiston ohjelman koodia kirjoitettaessa. Useampia ongelmia ilmaantui. Ensiksi haasteena oli SPI-sarjaväyläkommunikaation rakentaminen prosessorikortin ja kallistusantureiden välille. SPI eli Serial Peripheral Interface on synkronoitu sarjaliikenneväylä. SPI-väyläprotokollassa ohjelma kysyy kaltevuusanturilta tietoa 8 bittisenä binäärilukuna, mihin kallistusanturi vastaa. Yhteyden rakentaminen kuitenkin onnistui, mutta kytkiessämme anturit, totesimme molemmilta antureilta tulevan tiedon sisältävän jonkin verran virhettä. Kun ohjelma laitettiin päivittämään anturilta saatu arvo useamman kerran sekunnissa, totesimme tuloksen heittelevän noin 0,5 asteen sisällä. Häiriön syyksi epäilimme ensiksi anturille syötettävän 5V tasajännitteen epätasaisuutta. Tarkastelimme jännitettä oskilloskoopilla ja totesimme jännitteen

heittelevän n. 32-40mV. Vaikka heitto oli suhteessa pieni, yritimme toteuttaa muutamia jännitettä tasoittavia kytkentöjä hyödyntämällä pieniä mikro- ja nanofaradikokoluokan kondensaattoreita sekä keloja. Toteutetuilla kytkennöillä saimme tasoitettua jännitettä vain muutamia millivoltteja ja totesimme saavutetun hyödyn olevan olematon.

Suurempi ongelma kallistusanturien kanssa aiheutuikin sitten itse anturien välimatkasta prosessorikorttiin. Alun perin tehdyssä laitteistototeutussuunnitelmassa kohteelle vietävä anturi voisi olla jopa 10 metrin etäisyydellä. Testilaitteistossa kommunikointi anturin ja prosessorikortin välillä suunniteltiin toteutettavaksi RJ 12 6P6C kaapeleilla. Kaapeli on käytännössä sama kuin tavallinen 4-säikeinen puhelinkaapeli, mutta siinä on 6 säietä. Tilasimme kaapelit farnell.com sivustolta. Kytkiessämme testilaitteistoja kiinni, totesimme toisen kaapelin olevan viallinen. Kaapeli ei mittarilla mitattaessa ole oikosulussa mitään osin, mutta kun kallistusanturi kytkettiin kaapelin välityksellä prosessorikorttiin, alkoi anturi lämmetä, kuin se saisi oikosulkuvirtaa. Vastaavaa ei tapahtunut toista kaapelia käytettäessä. Toisena merkittävänä ongelmana kaapelien kanssa huomasimme niiden liian suuren vastuksen. Koska anturien käyttöjännite on vain 5V ja virta suhteellisen pieni, kallistusanturin lähettämä vastaus sen verran heikko, ettei se pidemmällä kaapelilla kulje perille asti. Tästä seurasi, että pitkällä noin 10 metrisellä kaapelilla mitattaessa anturilta ei saatu järkevää kallistustietoa ulos. Mittasimme kaapelien vastusarvot. 10 metrisen kaapelin vastusarvo oli 0,4 ohmia. Anturit saatiin vastaamaan vasta lyhennettyämme kaapeleita reilusti, jolloin vastusarvoksi jäi noin 0,1 ohmia. Käytännössä, ratkaistaksemme tämän ongelman, olisi antureille pitänyt tehdä erillinen vahvistin/lähetin, joka välittäisi tiedon eteenpäin. Erikoista on, ettei anturivalmistajan antamissa ohjeistuksissa ole mainintaa tarvittavasta vahvistuksesta pidemmille matkoille.

Koska kallistusantureilta ei saatu vastauksia pidemmistä matkoista heikon vastaussignaalin myötä ja aikaa vahvistinpiirien osien tilaamiseen ja rakentamiseen ei ollut, täytyi mittauksia soveltaa, jotta ne pystyttiin suorittamaan määräajassa. Mittausten suorittamiseksi, kohteen kulma tuli mitata ensin, minkä jälkeen prosessorikortti siirrettiin ja kytkettiin kamerayksikölle ja kameran kaltevuus ajettiin vastaamaan muistissa olevaa kohteen kaltevuusarvoa. Tämän jälkeen tarvittavat mittaukset voitiin suorittaa.

7.8 Testaus

Keinohorisonttimenetelmän testaamisen tavoite oli selvittää toteutuksen toimivuutta käytännössä. Testeissä simuloitiin laitteiston käyttöä ritilärunkoisessa kuorma-autossa, jossa lavetti on osa itse autoa, sekä puoliperävaunuyhdistelmässä, jossa lavetti on erikseen perässä vedettävä perävaunu. Mittauksien simulointia oli tarpeellista tehdä molempien ajoneuvojen osalta, sillä puoliperäyhdistelmässä huomioon pitää ottaa vetoauton sekä lavetin välinen kulma.

Kuten aiemmin kappaleessa 7.7 kävi ilmi, mittauslaitteiston toimivaksi saattaminen osoittautui erittäin haastavaksi. Tästä seurasi, että mittauksen suorittaminen tuli tehdä soveltaen, mikä osoittautui varsin työlääksi. Jotta mittauksissa ei olisi kulunut aivan kohtuuttomasti aikaa, päärin toteuttaa ne vain kahdella eri mittauskohteella, joista kumpaakin mitattiin sekä jäykkärunkoista lavettia, että puoliperäyhdistelmää simuloiden. Myös laitteita testattaessa huomattu kallistusanturien mittaustuloksien häiriö, antoi odottaa mittauksen tulosten olevan osittain epätarkkoja.

7.8.1 Ritiläauton korkeudenmittauksen simulointi ja testaus

Ritiläauton mittaussimulointi oli mittauksista yksinkertaisempi, sillä mitattava kohde oli samalla tasolla kameran maston kanssa. Tässä tapauksessa eri kallistuskulmien vaikutusta ei ole, jolloin mittauksen tarkkuuteen vaikutti vain kameran vaakasuuntaisuuden tarkkuus, sekä testialustan tasaisuus. Mittaustulokset on esitetty seuraavassa: Taulukko 5.

Taulukko 5. Mittaussimulointi 1 (jäykkärunkoinen lavetti)

Korkeudenmittaus testi 1: Jäykkärunkoinen lavetti (kameran jalka ja mitattava kohde samalla horisontaaliakselilla)						
Kohde	Kohteen lakipisteen etäisyys kamerasta	Kohteen kaltevuuskulma anturilla mitattuna	Kameran kaltevuuskulma anturilla mitattuna	Mitattavan kohteen todellinen korkeus mitalla mitattuna	Ultraäänianturin korkeus / kameran korkeus eli kok.korkeus (ultraäänianturilta kameraan +26cm)	Kameran korkeus mitalla mitattuna: Antureilla tehty kulmakorjaus / käsin vatupassilla tehty kulmakorjaus
1	5m	0,91	0,73-0,91	135cm	108 / 134cm	135 / 135cm
2	5m	0,91	0,91-1,15	107cm	82 / 108cm	108 / 108,5cm
1	10m	0,48	0,3-0,51	135cm	105 / 131cm	132,5 / 138cm
2	10m	0,48	0,6-0,8	107cm	82 / 108cm	105 / 106cm

Kuten tuloksista nähdään, mittauksissa laitteistolla saadut tulokset heittävät todellisesta jonkin verran. Päällimmäisenä syynä virheeseen on antureiden häiriö, sillä pienikin kulman muutos aiheuttaa tuloksissa virhettä. Kameran kaltevuuskulmaksi taulukkoon 5 onkin kirjattu koko häiriösektori, minkä sisällä anturin antama arvo heilui. Vertailun vuoksi päätin myös kokeilla vaakatason säätämistä vatupassia käyttäen. Kuten taulukosta näemme, käsin tehty korjaus antoi osin jopa tarkempia tuloksia. Ultraäänianturin korkeustuloksen vertailemiseksi suoritin korkeusmittauksen myös käsin. Nämäkin tulokset on nähtävissä taulukosta 5. Mittausten aikana pystyi selkeästi toteamaan ultraäänianturin käytön varsin häiriöalttiiksi. Ultraääni tarvitsi toimiakseen laajan tyhjän alueen alleen, jotta se ilmoitti todellisen korkeuden tarkasti. Tästä syystä korkeusmittausta suorittaessa mittauksia kannatti tehdä useampia.

7.8.2 Puoliperäyhdistelmän korkeudenmittauksen simulointi ja testaus

Puoliperäyhdistelmän mittauksia simuloidakseen, tuli mitattava kohde sijoittaa kaltevaan luiskaan, jotta kulmamuutosta kohteen ja kameramaston välillä saatiin aikaiseksi. Mittauksessa kameramasto sijoitettiin 250cm päähän nivelpisteestä, eli luiskan ja tasan taitoskohdasta. Vastaavasti kohde sijoitettiin 7 metrin etäisyydelle luiskaan. Mittausten tulokset on esitetty seuraavassa: Taulukko 6

Taulukko 6. Mittaussimulointi 2 (Puoliperäyhdistelmä)

Korkeudenmittaus testi 2: Puoliperäyhdistelmälavetti (kameran jalka ja mitattava kohde eri horisontaaliakseleilla)							
Kohde	Kohteen lakipisteen etäisyys kamerasta	Kohteen kaltevuuskulma anturilla mitattuna	Kameran kaltevuuskulma anturilla mitattuna	Mitattavan kohteen todellinen korkeus mitalla mitattuna	Ultraäänianturin korkeus / kameran korkeus / kohteen korkeus	Kameran korkeus mitalla mitattuna (antureilla tehty kulmakorjaus)/ korkeudesta laskettu kohteen korkeus	Nivelpisteen etäisyys
1	7m	3,84	3,7-3,9	135cm	119 / 145 / 127,9cm	148 / 130,9cm	250cm
2	7m	3,6	3,54-3,7	107cm	74 / 100 / 84,1cm	104 / 88,0cm	250cm

Kuten ensimmäisissäkin testeissä, tuloksissa havaitaan heittoa anturien häiriön takia. Tuloksissa oleva heitto on jonkin verran suurempi, verrattuna ensimmäisen testin tuloksiin, sillä kohteen ollessa luiskassa kulman epätarkkuuden vaikutus kasvaa. Tulokset ovat kuitenkin edes jonkin verran suuntaa antavia ja kulman vaikutuksen poistaminen on osittain onnistunut.

8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tehtyäni voin todeta, että hinnaltaan järkevän ja toimivan korkeusmittauslaitteiston kehittäminen on varsin haasteellista. Mikäli mittalaitteisto toimisi ajoneuvon etuosassa, ohjaamon takana, olisi mittausmenetelmästä riippumatta merkittävän haaste mitta-anturin ja kohteen lakipisteen välinen etäisyys. Pitkästä välimatkasta johtuen, mittauskulma tulee määrittää todella tarkasti, mikä on laitteiston kanalta hankalaa toteuttaa auton liikkuessa kuoppaisilla metsäteillä ja tärinän vaikuttaessa laitteiston rakenteisiin. Pienentääksemme kulman vaikutusta, tulisi mittausanturia tuoda jotenkin lähemmäksi koneen lakipistettä. Tästä seuraa kuitenkin että mekanismi, jolla anturi tuotaisiin lähemmäksi, muokkautuu helposti hyvin monimutkaiseksi ja kalliiksi toteuttaa.

Horisonttimenetelmän käyttäminen mittauksessa on teoriassa mahdollista. Kuitenkin, kuten työssä selvisi, tarkkojen kulmien määrittäminen tuo osaltaan suuria haasteita laitteiston toteutukselle. Suureen tarkkuuteen pääseminen maksaa, jolloin laitteiston hinta nousee. Menetelmän testaus jäi tässä työssä harmillisen puolittaiseksi laitteistoa rakennettaessa vastaan tulleiden ongelmien myötä, minkä seurauksena myös aika työn päätökseen saattamiseksi kävi tiukaksi. Mittaustuloksia olisi toimivalla laitteistolla voitu ottaa useampia ja mikäli kallistusanturin häiriötä olisi pystytty pienentämään, tuloksen olisivat voineet olla paljon positiivisempia. Toteutetuissa testeissä huomasin myös, ettei ultraäänen käyttö sovellu korkeudenmittaukseen tässä tarkoituksessa sillä anturin tulos on liian häiriöaltis. Koska anturi tulisi sijoittaa auton alustassa edes hiukan alimmaisista rakenteista ylemmäksi suojaan iskuilta, voivat nämä rakenteet helposti heijastaa ääniaaltoja takaisin anturille, jolloin tulos vääristyy. Alustan korkeuden mittauksessa tulisikin siksi käyttää pistemäisempään mittaukseen kykenevää tekniikkaa, esimerkiksi laseria.

Vaikka työn aikana havaittiin laitteiston kehittämisessä useita haasteita, ei laitteiston kehittäminen ole täysin mahdotonta. Koska työssä tehdyt mittaukset jäivät vielä laitteiston ongelmien takia puolittaisiksi, aion vielä testata menetelmää paremmin, ratkaistuani ilmenneet ongelmat.

LÄHTEET

Taulukko 1. Säteen halkaisijan muutos riippuen etäisyydestä (SICK)
Operating Instructions: Laser Measurement Sensors of the LMS1xx Product Family
<https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0031331>

Kuva 1. Työkoneen lakipiste. Tässä tapauksessa koneen hytin katto (Terähuolto.fi)
<http://www.terähuolto.fi/lavettikuljetukset>

Kuva 2. SICK AG:n ajoneuvon profiilin mittauslaitteisto (SICK)
Solutions for Traffic Safety, <https://www.mysick.com/saqqara/im0049539.pdf>

Kuva 3. TechnoVector 7, 3D WideScope teknologialla. (technovector.com)
<http://www.technovector.com/info.htm>

Kuva 5. Auton ja lavetin välinen kulma (Wikimedia)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crane_truck_on_semi-trailer.jpg

Kuva 7. Kallistusanturi: QG65-KD-030H-AV-CM (Aseko)
<https://www.aseko.fi/fi/tuotteet/1692/dis-qg65n-kixv-360-cans-cm-sil2pld-kahtennettu-kallistusanturi>

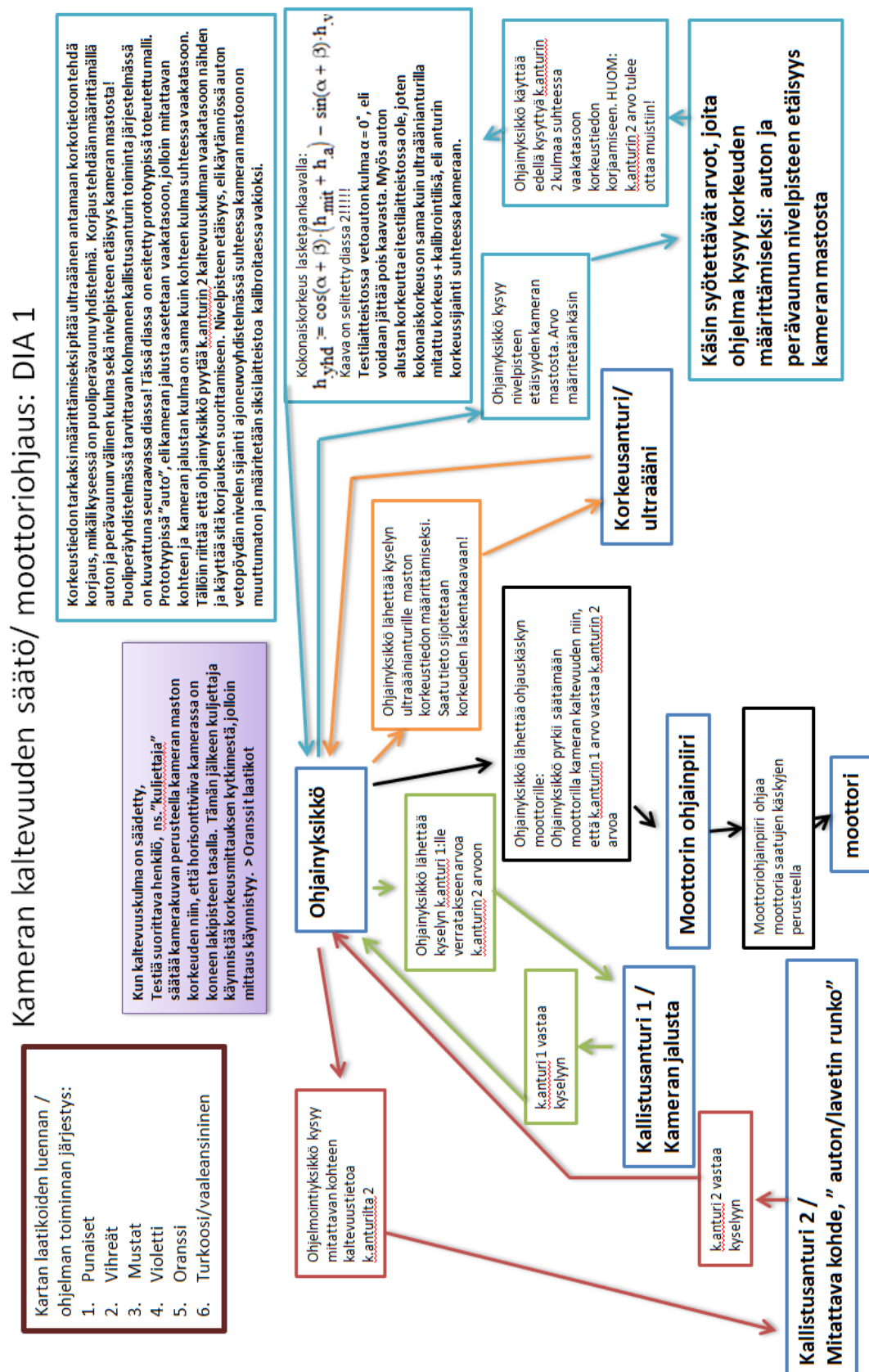
Taulukko 3. QG65-KD-030H-AV-CM
<http://dis-sensors.com/en/products/inclination-sensors/qg65-md-030h-av-cm/>

Kuva 8. Kallistuskomponentti: MURATA SCA100T-D01 INCLINOMETER, 2-AXIS, SPI, SMD (Elfaelektroniikka)
https://www.elfaelektroniikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=73-299-73&toc=0&q=SCA100T-D01

Taulukko 4. SCA100T -series suoritusarvotaulukko
http://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/SCA100T_en_TDS.pdf
http://fi.farnell.com/?_ga=1.228519326.262045503.1430124997

LIITTEET

Liite 1. Kameran kallistusohjelmiston toiminnan suunnitelma, dia 1



Liite 2. Kameran kallistusohjelmiston toiminnan suunnitelma, dia 2 (puoliperäyhdistelmä)

Kameran kaltevuuden säätö/ moottoriohjaus: DIA 2

HUOM!!!

Korkeudenlaskentakaavaa ohjelmaan sijoitettaessa tulee huomioida auton sekä perävaunun kaltevuuden suunta, eli onko kulma vaakatasosta myötäpäivään kasvava (positiivinen) vai vastapäivään kasvava (negatiivinen). Suunta tulee huomioida, jotta kokonaiskulma tulee oikein määritettyä. Tilanteesta riippuen kulmat voivat, joko kasvattaa kokonaiskulmaa, tai kumota toistensa vaikutusta.

h_{yhd} = yhdistelmän korkeus

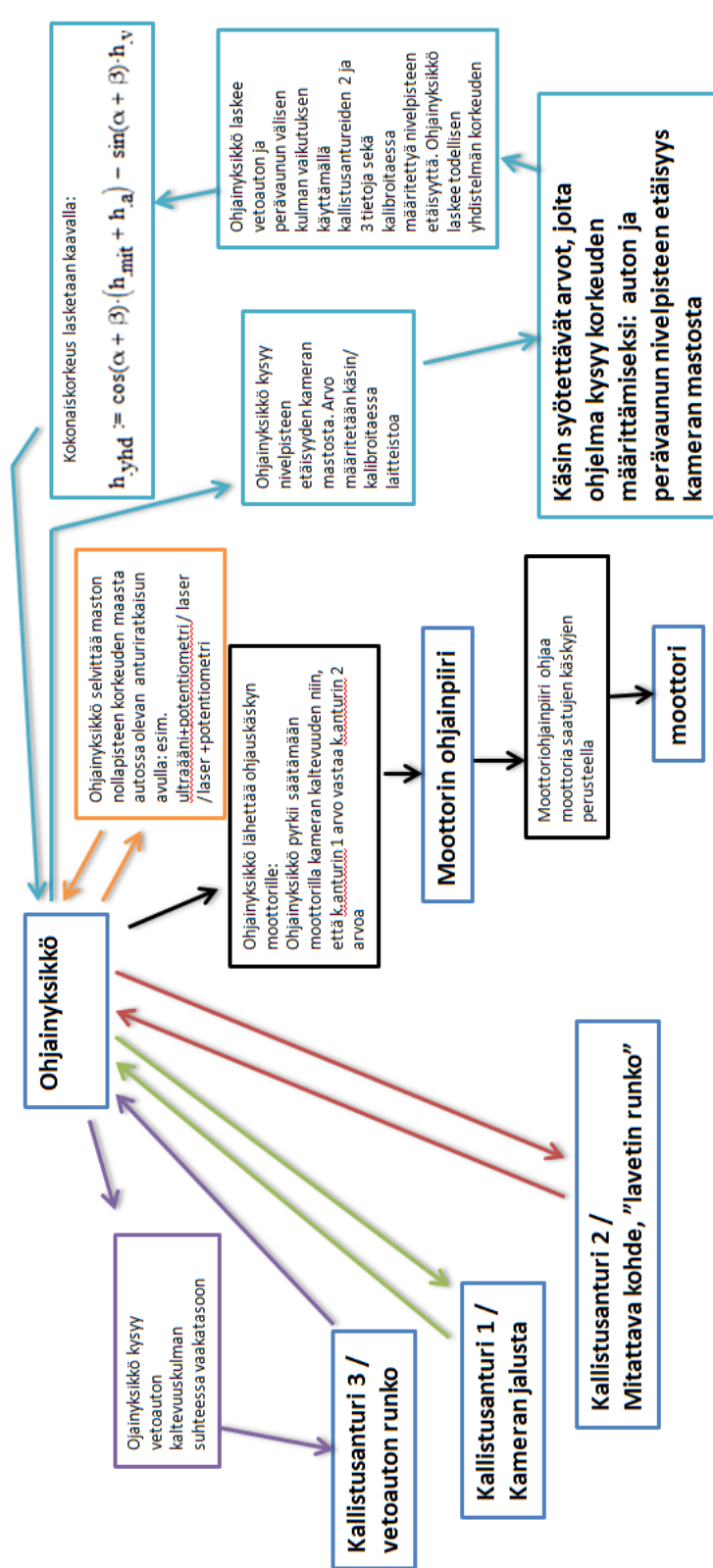
α = vetoauton kulma suhteessa vaakatasoon

β = perävaunun kulma suhteessa vaakatasoon

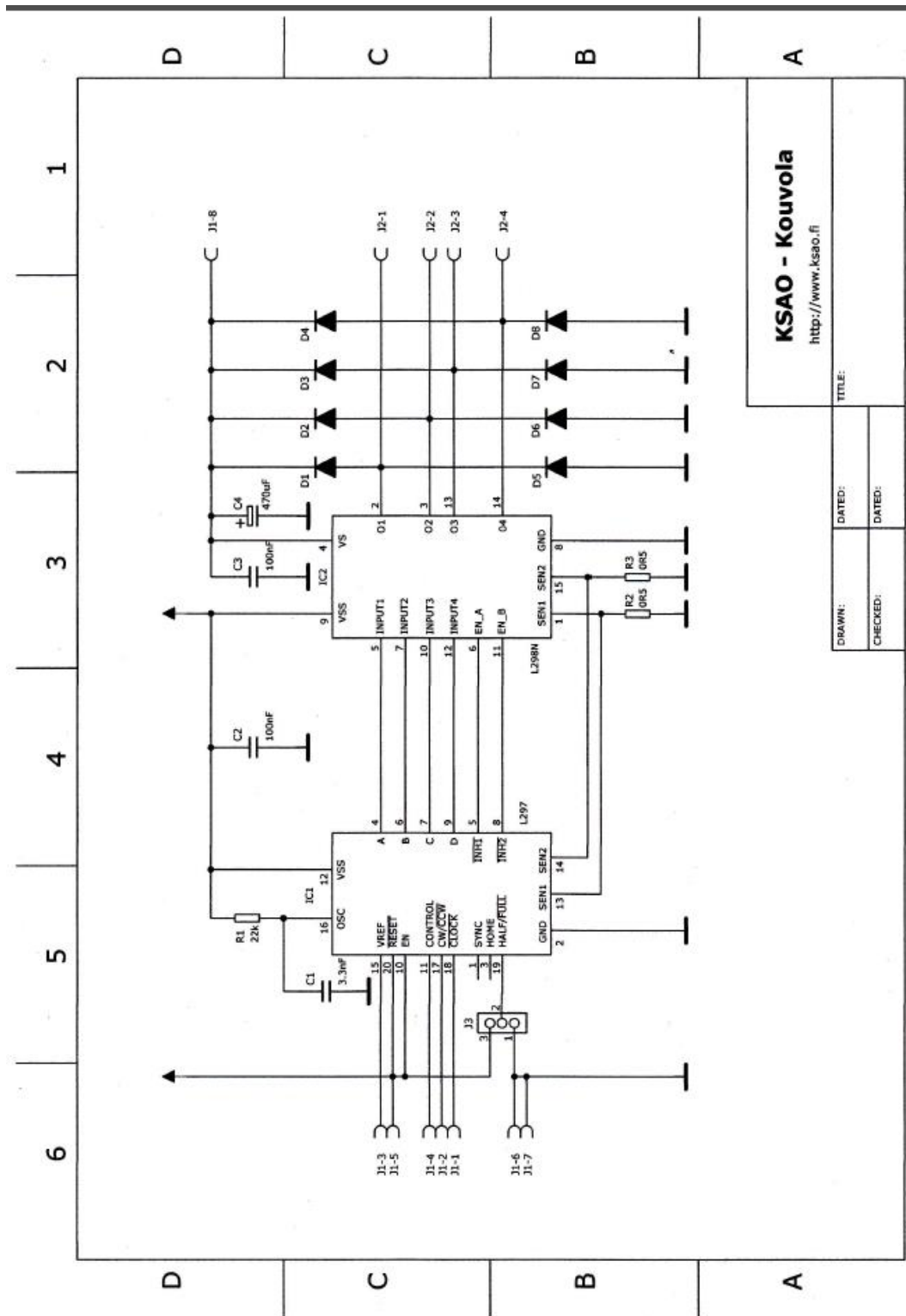
h_{mit} = kameran korkeus / lakipiste määritettynä

h_v = vetopöydän nivelen etäisyys kameran mastosta

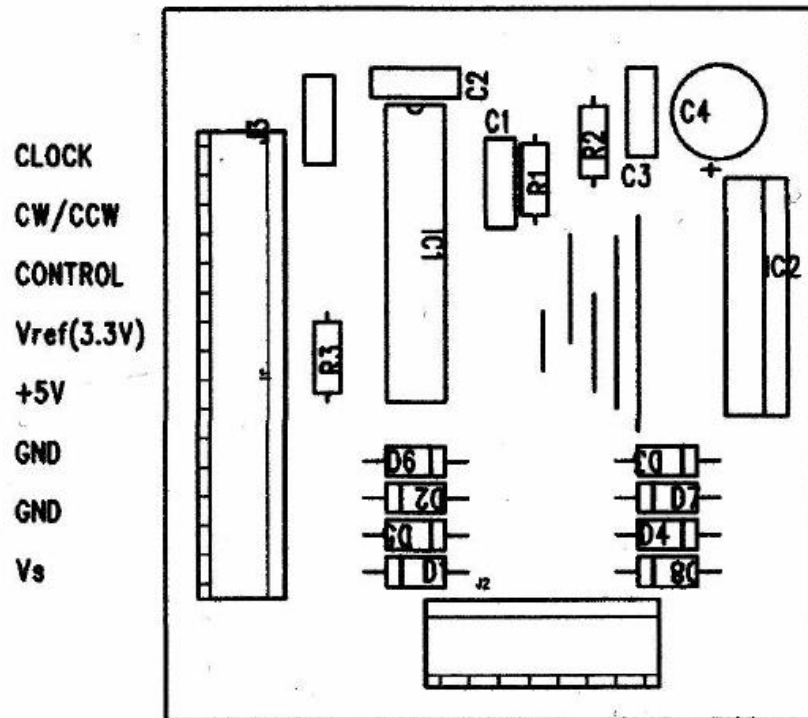
h_a = auton alustan korkeus mittalaitteiston nollatasoon.



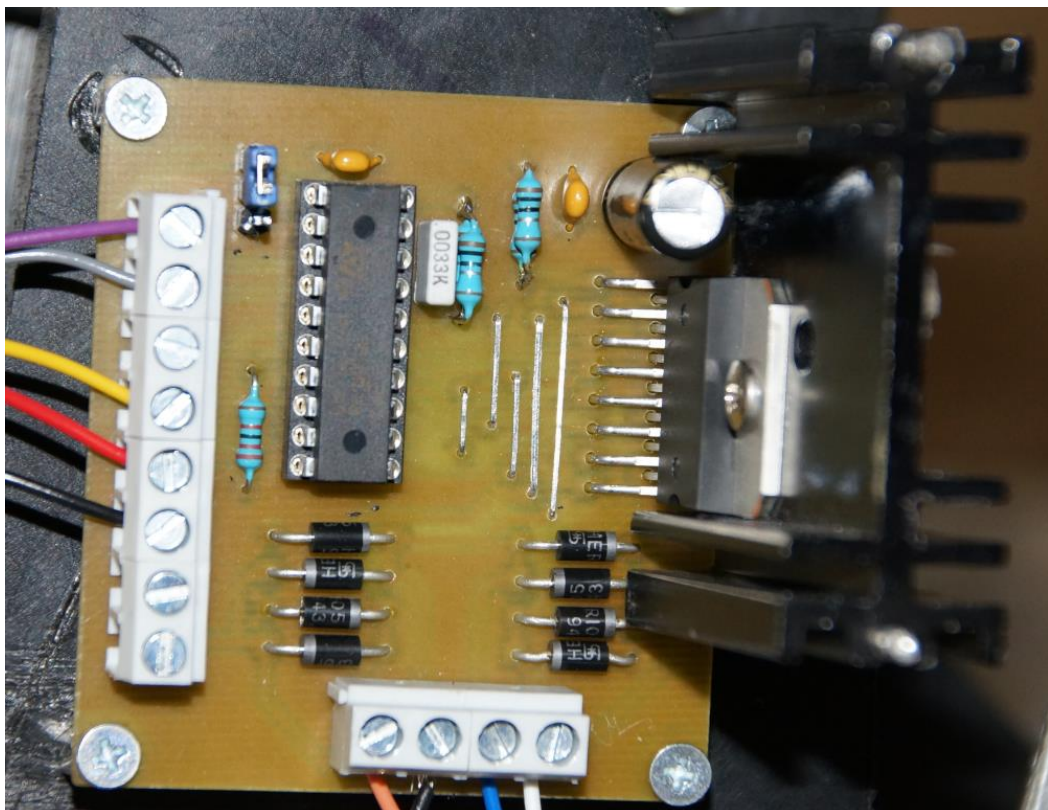
Liite 3. Moottoriohjainpiirin kytkentä (Piirin suunnittelija: Petri Koskinen)



Liite 4. Moottoriohjainpiirin pohjapiirros ja kuva ohjainpiiristä (Piirin suunnittelija: Petri Koskinen)



Layer: Silkscreen Top



Liite 5. Kallistusanturipiirin kytkentä (Piirin suunnittelija: Eero Hyppänen)

